

Terje Øvergaard Dahlberg

# Hvordan håndtere og forhindre forsinkelser i taktproduksjon

Masteroppgave i prosjektledelse

Veileder: Frode Drevland

Juni 2021



Terje Øvergaard Dahlberg

# Hvordan håndtere og forhindre forsinkelser i taktproduksjon

Masteroppgave i prosjektledelse  
Veileder: Frode Drevland  
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk





# Sammendrag

Det er kjent at byggeindustrien i Norge de siste tiårene har vært preget av lav produktivitet sammenlignet med andre bransjer. Siden 1990-tallet har produksjonsfilosofien Lean Construction (LC) hatt som formål å øke produktiviteten i den globale byggebransjen, ved å fjerne sløsing og øke arbeidsflyt. En av arbeidsmetodene utsprunget fra LC er takt. I de senere årene har det vært en økende bruk av taktplanlegging, og -produksjon, for å strukturere og utføre arbeid i byggeprosjekter på. Takt avhenger av en tett kobling mellom produksjonsenhetene, da bruken av tidsbuffer mellom dem typisk er minimert. For å forhindre forsinkelser i taktproduksjonen er det tidligere dokumentert at det er kritisk å lage en robust taktplan i taktplanleggingsprosessen. Det finnes også kunnskap om tiltak som kan iverksettes og hvordan taktplanen bør justeres for å reagere på forstyrrelser og forsinkelser, for å minimere konsekvensen disse har på taktproduksjonen. Det er derimot lite kunnskap i litteraturen på hvordan forsinkelser i taktproduksjonen proaktivt forhindres.

Denne masteroppgaven på temaet *takt og involvering av aktører i byggeprosjekter* har som formålet å svare på problemstillingen: *Hvordan håndtere og forhindre forsinkelser i taktproduksjonen?*

For å svare på problemstillingen er det gjennomført en case-studie på byggentreprenøren Consto. Det er valgt et kvalitativt forskningsdesign bestående av intervjuer med nøkkelroller i tilknytning til takt i Consto, en begrenset dokumentanalyse på en brosjyre om Constos byggestrategi og et observasjonsstudie av taktplanleggingsmøtene på Nye Hammerfest Sykehus.

Et ble funnet åtte årsakene til forsinkelser i taktproduksjonen: (1) forsinkede leveranser, (2) logistikkforstyrrelser, (3) feilproduksjon, (4) feilestimering av arbeid, (5) mangel på tilgjengelig arbeidskraft, (6) manglende forpliktelse, kommunikasjon og nøkkelroller, (7) skader på grunn av retting og (8) forsinkelsesparaden i taktproduksjon. Forsinkelser som oppstår i taktproduksjon har stor sannsynlighet for å lede til forsinkelser, som igjen fører til flere forsinkelser. Denne eskalerende rekken av forsinkende forstyrrelser har denne oppgaven navngitt *forsinkelsesparaden i taktproduksjon*. Denne paraden gjør det spesielt viktig å forhindre forsinkelser, fremfor å reagere på dem.

Studien avslørte hvordan ukentlige møter, Daily Huddle og kvalitetssikring (KS) ble brukt som verktøy i produksjonsfasen for å proaktivt forhindre forsinkelser i taktproduksjonen. Verktøyene forhindrer forsinkelser gjennom å tidlig avdekke mulige forstyrrelser og iverksette tiltak før taktområdene skal overleveres til neste fag. Også proaktive tiltak i planleggingsfasen ble avdekket. For eksempel Møteserien 16-12-8-4-1 – som tar for seg overgangen mellom prosjektering og produksjon. I tillegg avdekket studien at høy grad av involvering fra fagene som skal utføre arbeidet i taktplanleggingsprosessen øker forpliktelsen, engasjementet og kommunikasjonen hos alle deltagerne i produksjonen.

Det er også funnet var tre tilnærminger til hvordan forsinkelser som allerede hadde forekommen ble håndtert. En av disse tilnærmingene, 2-vognsstans, er ikke tidligere kjent og går ut på at

forsinkelsen et fag har i et taktområde blir innhentet av det følgende faget ved hjelp av overtid og økt arbeidskraft.

Oppgaven drøfter resultatene i lys av tidligere litteratur. Årsakene til forsinkelser, i både taktproduksjon og generelt, er kjent. Men effekten de har på taktproduksjon er derimot ikke kjent. Forsinkelsesparaden i taktproduksjon er et fenomen som ligner på LBMS-fenomenet cascading delay chains, men vil få større konsekvenser i taktproduksjonen på grunn av de tette koblingene mellom fagene. Også verktøyene for å forhindre forsinkelser i produksjonsfasen har blitt utforsket, men ikke i forbindelse med å proaktivt påvirke taktproduksjonen. Fra planleggingsfasen er Møteserien 16-12-8-4-1 et nytt funn som bør studeres nærmere.

# Abstract

The Norwegian construction industry has the recent decades been characterized by low productivity compared to other industries. Lean Construction (LC) as a production philosophy has since the 1990s aimed to increase productivity in the global construction industry by eliminating waste and increase workflow. A work method from LC is takt. In recent years, takt has become an increasingly more common method to structure work in construction projects. Because of the tight coupling of activities in takt and minimized use of time buffers, ensuring that activities are done on time is crucial. The literature stresses having good takt plans and discusses how to react to delays in takt production. However, there exists little literature about how site management can work proactively during takt execution to prevent delays.

This master's thesis deals with the theme *takt and involvement of trades in construction projects* and aims to answer: *How to handle and prevent delays in takt production?*

To achieve this, it has been conducted a case study of Consto – a major Norwegian contractor. A qualitative research design was done by interviewing key roles in Consto, a limited document analysis, and an observational study of the takt planning for *Nye Hammerfest Sykehus* – a hospital project.

This thesis found eight causes for delays in takt production: (1) delayed deliveries, (2) interruption in logistics, (3) errors, (4) incorrect estimations, (5) unavailable staffing and crew, (6) damages due to correctional work, and (8) the Parade of Delays in Takt Production. Delays occurring in takt production are likely to lead to further delays, which leads to even further delays. This escalating chain of delays is in this study named the Parade of Delays in Takt Production. The effect this parade has on takt production makes it critical to prevent delays, instead of reacting to them.

The study revealed how tools as weekly meetings, Daily Huddle, and quality assuring were used in takt production to proactively prevent delays. These tools prevent delays by detecting potential delays and implement measures as early as possible. Proactive mechanisms in the takt planning phase were found. For example, the 16-12-8-4-1 meeting series that deals with the project handover from design to production. Furthermore, working proactively to prevent delays is contingent on having a high degree of buy-in and commitment from all trades participating in the takt. A key to achieving this was to involve all the trades in the takt planning process actively.

Also, the study found three approaches to react to delays in takt production. One of these, the Two-cars-stop (*Norwegian: 2-vognsstans*) is not previously known in the literature. The approach deals handle delays in takt production by letting the following trade catch up with the delay caused by the trade before – by using overtime and increasing labor.

The results are discussed considering previous studies in the literature. The causes for delays found in this study are well known. However, the effect they cause on takt production is not. The Parade of Delays in Takt Production is related to Location-Based Management System's (LBMS) phenomenon *cascading delay chains* but has a greater impact on the overall project schedule. Also, the tools found to prevent delays during production are previously explored.

However, they are not explored in the implementation of takt production. In the planning phase, the 16-12-8-4-1 meeting series is a new finding that should be further explored.



# Forord

Denne masteroppgaven er skrevet vårsemesteret 2021 og avslutter mitt 5-årige masterløp på Bygg- og Miljøteknikk ved NTNU i Trondheim. Jeg har gjennom sommerjobber i produksjonsindustrien og bygg- og anleggsbransjen erfart hvordan forsinkelser i produksjonen minker produktivitet og kan føre til lav arbeidsmoral og konflikter. På den andre siden har jeg også erfart hvordan samarbeid, kunnskap om andre aktørers perspektiver i et prosjekt, god planlegging og ledelse kan forhindre forsinkelser, bidra til arbeidsflyt og økt produktivitet. Jeg har opplevd flere perspektiver av produksjonen. Blant annet har jeg vært hjelpearbeider for maskinarbeid, prosjekterings-/stikningsingeniør og prosjektingeniør med ansvar for oppfølging av underentreprenører. Disse erfaringene motiverte meg til å velge studieretningen *bygg og anlegg* og hovedprofil *prosjektledelse*.

Gjennom sommerjobb i Consto AS ble jeg introdusert for bruk av takt i byggeprosjekter. Jeg så potensialet metoden har til å øke arbeidsflyten på byggeplass og opplevde økt engasjement fra underentreprenører på grunn av taktplanens enkle visuallisering av fremdriften i prosjektet. Samtidig ble jeg oppmerksom på utfordringer ved bruk av takt. Særlig hvor følsom metoden kan være for små forstyrrelser og forsinkelser i produksjonen. Jeg valgte derfor, med gjensidig interesse fra Consto AS, å skrive denne masteroppgaven på temaet: *takt og involvering av aktører i byggeprosjekter*. Jeg vil takke Consto AS for samarbeidet med masteroppgaven min. Spesielt takk til intervjupersonene for engasjerte og reflekterte samtaler.

I tillegg takker jeg min veileder fra NTNU Frode Drevland for godt samarbeid og god rådgivning i forbindelse med problemstilling, forskningsdesign og strukturering av oppgaven. Jeg takker også Drevland for muligheten, motivasjonen og samarbeidet i å skrive konferanseartikkelen *Preventing the Parade of Delays in Takt Production* til IGLC-konferansen 2021.

Til slutt takker jeg medstudenter, venner og samboer som har gjort fem år med studie på Bygg og -miljøteknikk til en fantastisk tid.



---

Terje Øvergaard Dahlberg

Trondheim, 11.06.2021

---

Sted, dato



# Innhold

Figurer.....	xii
Tabeller .....	xii
Forkortelser.....	xiii
1 Innledning.....	2
1.1 Bakgrunn for oppgaven .....	2
1.2 Problemstilling.....	3
1.3 Avgrensninger .....	3
1.4 Oppgavens struktur.....	3
2 Teori.....	6
2.1 Lean og Lean Construction – historisk perspektiv og sentrale begreper.....	6
2.1.1 Verdi og verdistrøm .....	7
2.1.2 Flyt .....	7
2.1.3 Just-in-time.....	7
2.1.4 Jidoka .....	7
2.1.5 Kaizen.....	7
2.1.6 Variabilitet og buffer.....	8
2.1.7 Push- og pullsystemer .....	9
2.2 Transformasjon – Flyt – Verdi – teorien .....	9
2.2.1 Transformasjon.....	9
2.2.2 Flyt .....	10
2.2.3 Verdi.....	11
2.3 Aktivitets- og lokasjonsbasert planlegging.....	12
2.4 Last Planner System .....	12
2.4.1 Planhierarki .....	13
2.4.2 Styring av produksjonsenheter .....	14
2.4.3 Styring av arbeidsflyt .....	15
2.4.4 Hindringsanalyse.....	15
2.4.5 LPS i prosjekteringsfasen – et produksjonssystem fra prosjektering til overlevering.....	16
2.5 Daily Huddle.....	16
2.6 Location-Based Management System .....	16
2.6.1 LBMS: planlegging.....	16

2.6.2	LBMS: kontrollsystem .....	17
2.6.3	Cascading delay chains – Rekker av påfallende forsinkelser .....	17
2.7	Takt.....	18
2.7.1	Taktplanlegging i bygninger .....	18
2.7.2	Planleggingsprosessen ved bruk av taktplanlegging.....	19
2.7.3	Takt-tog .....	20
2.7.4	Taktkontroll.....	21
2.7.4.1	Justeringsmekanismer for å reagere på forsinkelser i takt.....	21
2.7.5	Modningsnivåer i takt.....	22
2.7.6	Takt og Location-Based Management System.....	22
2.8	Årsaker til forsinkelser i taktproduksjon .....	23
2.8.1	Feil ved taktplanen .....	23
2.8.2	Feil ved overlevering.....	24
2.8.3	Forsinkende leveranser til byggeplassen.....	25
2.8.4	Manglende arbeidskraft.....	25
2.8.5	Endringer fra kunde.....	25
2.8.6	Manglende forpliktelse til taktplanen.....	25
3	Metode.....	28
3.1	Generelt om metode.....	28
3.1.1	Kvantitativ og kvalitativ metode .....	28
3.1.2	Validitet og reliabilitet .....	28
3.2	Metodevalg .....	28
3.3	Litteraturstudie.....	29
3.3.1	Identifisere relevante studier .....	29
3.3.2	Studere, kartlegge og sortere utvalget .....	30
3.3.3	Studere, kartlegge og oppsummere resultatet .....	32
3.3.4	Litteratur lagt til etter litteraturstudien .....	32
3.4	Case-studie og case-bedriften.....	33
3.4.1	Intervju .....	33
3.4.1.1	Formål med metoden .....	33
3.4.1.2	Valg av informanter og gjennomføring av intervjuer.....	33
3.4.1.3	Analyse av intervjuene .....	35
3.4.2	Begrenset dokumentanalyse .....	39

3.4.3	Observasjonsstudie.....	41
3.5	Evaluering av forskningsdesign.....	42
3.6	Konferanseartikkel: International Group for Lean Construction .....	43
4	Resultater.....	44
4.1	Årsaker til forsinkelser i taktproduksjon .....	44
4.1.1	Forsinkede leveranser.....	45
4.1.2	Logistikkforstyrrelser .....	45
4.1.3	Feilproduksjon.....	46
4.1.4	Feilestimering av arbeid .....	47
4.1.5	Mangel på tilgjengelig arbeidskraft.....	47
4.1.6	Manglende forpliktelse, kommunikasjon og nøkkelroller .....	47
4.1.7	Skader på grunn av retting og forsinkelsesparaden.....	48
4.2	Forhindre forsinkelser i taktproduksjonen.....	48
4.2.1	Ukentlige møter.....	49
4.2.2	Daily Huddle .....	52
4.2.3	Kvalitetssikring .....	53
4.2.4	Planleggingsfasen.....	53
4.2.4.1	Kontinuerlig læring.....	54
4.2.4.2	Overlevering mellom prosjektering og produksjon – Møteserien 16-12-8-4-1 55	
4.2.4.3	Leveranser og logistikk .....	56
4.2.4.4	Forbedre forpliktelse, kommunikasjon og sikre seg nøkkelroller gjennom hele prosjektet.....	57
4.2.4.5	Observasjoner fra taktplanleggingmøter – Nye Hammerfest Sykehus .....	58
4.3	Minimere konsekvensene av forsinkelser.....	59
5	Diskusjon.....	62
5.1	Årsaker til forsinkelser i taktproduksjon .....	62
5.2	Forhindre forsinkelser i taktproduksjon .....	65
5.2.1	Ukentlige møter.....	65
5.2.2	Daily Huddle .....	66
5.2.3	Kvalitetssikring .....	67
5.2.4	Planleggingsfasen.....	67
5.3	Minimere konsekvensene av forsinkelser i taktproduksjon .....	69
5.4	Funnenes relevans og reliabilitet .....	70

6	Konklusjon.....	72
7	Forslag til videre forskning.....	74
	Referanser.....	74
	Vedlegg .....	80

## Figurer

Figur 1 – Produksjonsprosessen i et transformasjonsperspektiv, delt inn i et hierarki av underprosesser(basert på Koskela, 2000).....	10
Figur 2 – Flytkonseptet av produksjon (basert på Koskela, 2000).....	11
Figur 3 – Verdiskapning mellom leverandør og kunde (basert på Koskela, 2000) .....	12
Figur 4 – Kalsaas et al. (2017) tolkning av oversikten av mekanismene i LPS.....	13
Figur 5 – Last Planner System med utviklingsplanlegging i fokus (basert på Ballard, 2000).....	15
Figur 6 – Takt-toget med vognene som representerer fagene i arbeidsrekkefølgen .....	20
Figur 7 – Takt-toget med vognene i arbeidssonene .....	20
Figur 8 – Taktplan som viser hvilken arbeidssone hver vogn jobber i til hvilken tid.....	21
Figur 9 – Flytskjema som beskriver arbeidet med utvelgelsen av litteratur. ....	31
Figur 10 – Forsiden av Involverende Bygging i Consto .....	40
Figur 11 – Modell av Nye Hammerfest Sykehus (Consto AS n.d.).....	41
Figur 12 – Eksempel på ukentlig møte avholdt midt i ukestakt-periode .....	50
Figur 13 – Eksempel på ukentlig møte avholdt i starten av ukestakt-periode med oppfølgings utsjekk mot slutten .....	51
Figur 14 - Møteserien 16-12-8-4-1 fra IBC .....	55
Figur 15 - Møteserien 16-12-8-4-1 og de 8 stegene i taktplanlegging fra IBC.....	56
Figur 16 - Tegnforklaring for Figur 17, Figur 18 og Figur 19 .....	62
Figur 17 - Illustrering av forsinkelser som forplanter seg ved bruk av Location-Based Management System (Tegnforklaring i Figur 16).....	63
Figur 18 - Illustrering av forsinkelser som forplanter seg ved bruk av taktplanlegging og - produksjon (Tegnforklaring i Figur 16) .....	64
Figur 19 - Tilnærminger for å minimere konsekvensene av forsinkelser i taktproduksjon. (Tegnforklaring i Figur 16) .....	69

## Tabeller

Tabell 1 – Modenhetsmodell for takt (Lehtovaara et al. 2020a).....	22
Tabell 2 - Funn fra litteraturstudie på utfordringer ved å opprettholde takten i taktplanlegging og-produksjon.....	23
Tabell 3 – Søkjetjenester i litteratursøket.....	30
Tabell 4 – Søkematrise: Antall treff elektroniske databaser. ....	31
Tabell 5 – TONE-prinsippet (NTNU Bibliotek 2017). ....	32
Tabell 6 – Informantenes roller og erfaringer .....	34
Tabell 7 – Koder/stikkord brukt på transkribert data fra intervjuene. Koder som var forhåndsbestemt er merket med (Forhånd). ....	36
Tabell 8 – Utforming av temaer fra koder/stikkord .....	38

Tabell 9 - Detaljer om observasjonsstudien på Nye Hammerfest Sykehus .....	41
Tabell 10 – Svar på forskningsspørsmål 1: Hva forårsaker forsinkelser i taktproduksjon? ....	44
Tabell 11 – Svar på forskningsspørsmål 2: Hvordan kan det jobbes proaktivt i produksjonsfasen for å forhindre forsinkelsene i forskningsspørsmål 1? .....	49
Tabell 12 – Svar på forskningsspørsmål 3: Hva bør gjøres i taktplanleggingsfasen for å forhindre forsinkelser i taktproduksjonen? .....	54
Tabell 13 - Svar på forskningsspørsmål 4: Når forsinkelsen allerede har skjedd, hva gjøres for å forhindre konsekvensene av den?.....	60

## Forkortelser

---

<b>Forkortelse</b>	<b>Beskrivelse</b>
<b>5S</b>	Sort, Straighten, Scrub, Systemize, Standardize
<b>IGLC</b>	International Group for Lean Construction
<b>JIT</b>	Just-in-time
<b>KS</b>	Kvalitetssikring
<b>LBMS</b>	Location-Based Management System
<b>LC</b>	Lean Construction
<b>LPS</b>	Last Planner System
<b>TFV</b>	Transformasjon – Flyt – Verdi
<b>TPS</b>	Toyota Production System
<b>TPTC</b>	Takt Planning and Takt Control
<b>TTP</b>	Takt Time Production

---



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Det er kjent at byggeindustrien i Norge de siste tiårene har vært preget av lav produktivitet sammenlignet med andre bransjer. Siden 1990-tallet har produksjonsfilosofien Lean Construction (LC) hatt som formål å øke produktiviteten i den globale byggebransjen ved å fjerne sløsing og øke arbeidsflyt. Dette er gjort i stor grad gjennom å tilpasse arbeidsmetoder og -systemer fra produksjonsindustrien til prosjektbasert produksjon. En av arbeidsmetodene utsprunget fra LC er takt. I de senere årene har det vært en økende bruk av takt i byggeprosjekter.

I produksjonsindustrien er takt brukt i sammenheng med samlebåndsproduksjon der produktene forflytter seg fra forskjellige arbeidsstasjoner som utfører verdiskapende arbeid på produktet. Hver arbeidsstasjon bruker like lang tid på hvert produkt – takttiden – før produktet overleveres til neste arbeidsstasjon. I taktproduksjon i byggeprosjekter står derimot produktet, som er bygget, i ro mens produksjonsenheter – for eksempel et arbeidslag fra et eller flere fag – forflytter seg i bygget.

I byggeprosjekter er takt brukt som en metode for å strukturere arbeid på byggeplassen (Frandsen et al. 2013). Metoden går ut på å dele bygget inn i taktområder – soner med omtrent samme mengde arbeid for alle produksjonsenheter – og la produksjonsenhetene arbeide uforstyrret i dem. Hver produksjonsenhet skal fullføre arbeidet sitt i taktområdet til en gitt tid – takttiden – før de overleverer det til neste. Gjennomføringen av taktproduksjon i bygninger er visualisert som et tog med vogner som flytter seg gjennom et bygg (Haghsheno et al. 2016; Haugen et al. 2020). Vognene inneholder produksjonsenheter som jobber alene i et taktområde. Takt skal øke flyten i produksjonen og øke produktiviteten ved å fjerne sløsing.

Takt avhenger av en tett kobling mellom produksjonsenhetene, da bruken av tidsbuffer mellom dem typisk er minimert. Tommelein et al. (1999) illustrerer med *Parade of Trades* hvordan variabilitet i arbeidsflyt påvirker fagene på byggeplassen. Fagene er avhengige av hverandre. Dermed vil en variabel arbeidsflyt føre til at fagene ikke klarer å yte til full produksjonskapasitet, og derfor føre til sløsing. Denne studien viser hvordan det å ikke sikre nødvendig arbeidsflyt kan risikere å føre til en forsinkelsesparade i taktproduksjonen. Denne forsinkelsesparaden ligner på *cascading delay chains* som tidligere er utforsket i forbindelse med produksjonssystemet Location-Based Management System (LBMS), men ikke i taktproduksjon.

For å forhindre forsinkelser i taktproduksjonen er det kritisk å lage en robust taktplan i taktplanleggingsprosessen (Binnering et al. 2017a; Frandsen et al. 2013, 2014). Haghsheno et al. (2016) påpeker at taktplanen er et dynamisk dokument som utvikler seg også i løpet av produksjonsfasen. Det er kritisk å reagere på forstyrrelser i planen for å gjennomføre takt.

Binninger et al. (2017b) foreslår flere justeringsmekanismer for redde inn en taktplan fra forstyrrelser. Felles for disse er at de reagerer på forsinkelser etter at de har påvirket takten.

Det finnes lite informasjon i litteraturen på hvordan forsinkelser proaktivt forhindres i utførelsen av taktproduksjonen. Frandson et al. (2014) påpeker at taktproduksjonen alene ikke har et kontrollverktøy og foreslår Last Planner System (LPS) som et kontrollsystem i kombinasjon med takt, men det er ikke nevnt noe i litteraturen *hvordan* systemet bør kombineres med taktproduksjonen. Haghsheno et al. nevner daglige møter med aktørene i taktproduksjonen som avgjørende for å kontrollere produksjonen og løse problemer på byggeplassen. Kontrollbidraget fra de daglige møtene beskriver de at går ut på å sammenligne faktisk mot planlagt fremdrift. På grunn av hyppigheten på kontrollene har metoden et potensial til å forhindre forsinkede taktområdeoverleveringer ved bruk av lengre taktperioder – for eksempel ukestakt. Men, metoden belager seg på at forstyrrelser allerede har forårsaket en forsinkelse i produksjonen og kan derfor ikke sies å være et fullstendig proaktivt verktøy. Det er mangel på kunnskap om hvordan mulige forsinkelser i taktproduksjonen kan forhindres ved bruk av proaktive verktøy og tiltak.

## 1.2 Problemstilling

Formålet med oppgaven er å svare på problemstillingen: *Hvordan håndtere og forhindre forsinkelser i taktproduksjonen?* Denne oppgaven tar for seg problemstillingen ved å svare på følgende forskningsspørsmål:

1. Hva forårsaker forsinkelser i taktproduksjon?
2. Hvordan kan det jobbes proaktivt i produksjonsfasen for å forhindre forsinkelsene i forskningsspørsmål 1?
3. Hva bør gjøres i taktplanleggingsfasen for å forhindre forsinkelser i taktproduksjonen?
4. Når forsinkelsen allerede har skjedd, hva gjøres for å forhindre konsekvensene av den?

## 1.3 Avgrensninger

Denne oppgaven begrenser seg til én case-bedrift – Consto – og de kvalitative resultatene fra intervju gjort med nøkkelpersoner i bedriften. I tillegg er det gjort en observasjonsstudie av taktplanleggingsmøter i et prosjekt. I observasjonsstudien har det ikke vært mulig å se resultatet av taktplanleggingen på grunn av oppgavens tidsbegrensning til vårsemesteret 2021.

Flere tilnærminger til bruk av takt i byggeprosjekter er dokumentert i litteraturen. Tilnærmingene varierer avhengig av hvor i verden de er i bruk. I denne studien begrenser funnene seg til den norske byggebransjen og den norske bruken av takt.

## 1.4 Oppgavens struktur

Oppgaven er strukturert i syv hovedkapitler i tillegg til referanseliste og vedlegg. Den starter med et innledningskapittel. Deretter redegjøres det for oppgavens teoretiske bakgrunn før metoden blir beskrevet. Resultatkapittelet viser funnene fra forskningen, mens diskusjonskapittelet setter disse i lys av tidligere litteratur. Til slutt konkluderes oppgaven i konklusjonskapittelet forslag til videre forskning innen temaet legges fram.

## **1 Innledning**

I innledningskapittelet presenteres bakgrunnen for oppgaven og kunnskapshullet i eksisterende litteratur. Deretter blir oppgavens problemstilling og forskningsspørsmål lagt fram, før oppgavens begrensninger og struktur redegjøres for.

## **2 Teori**

I teorikapittelet blir relevant teori knyttet til oppgavens problemstilling lagt fram for å gi leseren nødvendig teorigrunnlag for oppgaven. Først tar kapittelet for seg Lean og Lean Construction (LC) som en bakgrunn for utviklingen av taktplanlegging og -produksjon, for å gi leseren et historisk perspektiv på temaet. Begreper fra LC som er relevante for takt – det vil si verdi, verdistrøm, flyt, just-in-time (JIT), Kaizen, variabilitet, buffer og push- og pullsystemer – blir så gjort rede for. For å senere forklare ulike produksjonssystemer fra LC blir teori rundt aktivitets- og lokasjonsbasert planlegging lagt fram. Deretter presenteres produksjonssystemet Last Planner System (LPS), kontrollverktøyet Daily Huddle og den taktrelaterte arbeidsstrukturingsmetoden Location-Based Management System (LBMS). Etter dette blir teori om takt i planleggings- og produksjonsfase presentert. Til slutt i kapittelet blir det gjort rede for tidligere kjente årsaker til forsinkelser i taktproduksjon.

## **3 Metode**

I metodekapittelet presenteres forskningsdesignet som er brukt i denne oppgaven. Formålet med kapittelet er å gi leseren grunnlag for funn og konklusjoner i oppgaven, gi andre mulighet til å videreføre arbeidet og styrke oppgavens etterprøvbarehet. Først beskrives generelle begreper innen forskningsmetodikk før valget av metoder brukt i oppgaven blir gjort rede for. Deretter blir metodene beskrevet. Til slutt i kapittelet blir forskningsdesignet evaluert.

## **4 Resultat**

I oppgavens resultatkapittel blir funnene fra intervjuene, dokumentanalysen og observasjonsstudien framstilt. Kapittelet er tredelt. I første del presenteres årsaker til forsinkelse i taktproduksjon. I andre del belyses funnene på hvordan det arbeides for å forhindre disse forsinkelsene i produksjons- og planleggingsfase. Mens i den siste delen blir det lagt fram funn på tiltak for å minimere forsinkelsene dersom de allerede har påvirket taktproduksjonen.

## **5 Diskusjon**

I dette kapittelet drøftes oppgavens funn fra resultatkapittelet i lys av tidligere kjent informasjon. Først blir årsaker til forsinkelser og forsinkelsesparaden i taktproduksjon diskutert, før tiltakene og mekanismene for å forhindre forsinkelsene blir drøftet opp mot eksisterende litteratur. Følgende blir metodene som brukes for å minimere konsekvensene av forsinkelsene sett på. Til slutt i kapittelet blir funnenes relevans og reliabilitet vurdert.

## **6 Konklusjon**

I dette kapittelet blir forskningsspørsmålene besvart og oppgaven konkluderes.

## **7 Forslag til videre forskning**

Kapittelet kommer med forslag til videre forskning på områder innenfor temaet takt og involvering av aktører i taktproduksjon.

### **Referanser**

Her presenteres oppgavens referanser.

### **Vedlegg**

Vedlagt oppgaven er intervjuguiden, brosjyren *Involverende Bygging i Consto* som er brukt i oppgavens begrensede dokumentanalyse og konferanseartikkelen som er skrevet på funnene i denne oppgaven.

## 2 Teori

I teorikapittelet blir relevant teori knyttet til oppgavens problemstilling lagt fram for å gi leseren nødvendig teorigrunnlag for oppgaven. Først tar kapittelet for seg Lean og Lean Construction (LC) som en bakgrunn for utviklingen av taktplanlegging og -produksjon, for å gi leseren et historisk perspektiv på temaet. Begreper fra LC som er relevante for takt – det vil si verdi, verdistrøm, flyt, just-in-time (JIT), Kaizen, variabilitet, buffer og push- og pullsystemer – blir så gjort rede for. For å senere forklare ulike produksjonssystemer fra LC blir teori rundt aktivitets- og lokasjonsbasert planlegging lagt fram. Deretter presenteres produksjonssystemet Last Planner System (LPS), kontrollverktøyet Daily Huddle og den taktrelaterte arbeidsstrukturingsmetoden Location-Based Management System (LBMS). Etter dette blir teori om takt i planleggings- og produksjonsfase presentert. Til slutt i kapittelet blir det gjort rede for tidligere kjente årsaker til forsinkelser i taktproduksjon.

### 2.1 Lean og Lean Construction – historisk perspektiv og sentrale begreper

*Lean* er et begrep som i dag brukes i svært mange bransjer. Womack & Jones (2003) presenterte på starten av 1990-tallet begrepet *Lean Thinking* i utgivelsen "*The Machine That Changed the World*". Boka inneholdt en rekke data på referansemålinger innen produksjon som tok utgangspunkt i Toyotas tilnærming – det vil si Toyota Production System (TPS) – etter andre verdenskrig. *Lean Thinking* er forklart som en motsigelse av sløsing. Tankegangen skal gi en metode for å spesifisere verdi, stille opp verdiskapende aktiviteter i den beste rekkefølgen, gjennomføre aktivitetene uten forstyrrelser når det er ønskelig og hele tiden øke effektiviteten i utførelsen av disse. Formålet er å gjøre mer med færre ressurser, tid og plass samtidig som produktet og prosessen stadig kommer nærmere det kunden eksakt ønsker. TPS og *Lean Thinking* har vist seg å være betydelig mer effektivt enn tradisjonell masseproduksjon i produksjonsindustrien (Womack et al. 2007).

I byggebransjen ble begrepet Lean Construction (LC) introdusert på starten av 1990-tallet som en ny produksjonsfilosofi i Koskelas «*Application of the New Production Philosophy to Construction*» (Koskela 1992). I tradisjonell produksjonsteori på byggeprosjekter ble kun aktiviteter som medbrakte verdi tatt i betraktning. Formålet med LC er å videreutvikle prinsippene fra *Lean Thinking* og TPS til å passe bygg- og anleggsbransjen for å redusere sløsing (Howell 1999). Å lede byggeprosjekter etter lean-tankegangen skiller seg fra annen midlertidig, prosjektbasert produksjon fordi (1) det har et sett med klare mål for leveranseprosessen, (2) det tar sikte på å maksimere ytelsen for kunden på et prosjektnivå, (3) det utvikler produktet og prosessen samtidig og (4) bruker produksjonskontroll gjennom prosjektets levetid. Siden starten på 1990-tallet har bruken av og forskningen på LC i vokst gradvis og er i dag i bruk over hele verden. I de neste underkapitlene blir sentrale begreper fra Lean og LC forklart.

### 2.1.1 Verdi og verdistrøm

Womack & Jones (2003) setter **verdi** som det kritiske startpunktet i en Lean-tankegang. Verdien av et produkt kan kun bli definert av den endelige kunden og skapes av produsenten. Kunden definerer hvilke kvaliteter ved et produkt som gir verdi til en spesifisert pris- og tidsramme. For produsenten er det derimot vanskelig å definere verdi spesifikt. Lean Thinking krever en logisk forbindelse mellom hvert ledd i en designprosess fra kundens behov og etterspørsel til ferdig produkt. Et eksempel der produsenten ikke tar for seg kundens verdi kan være en bilprodusent som setter inn en for stor motor i en bil som skal appellere til bykjøring og familiebruk. Kundens behov kan tenkes å være fokusert på sikkerhet, romslighet og manøvreringsegenskaper og ikke hvor mye kraft motoren har. Den overflødige motorkraften bilprodusenten har satt inn i bilen gjør enten produktet utilgjengelig for kunden ved å prise det utenfor kundens betalingsvilje, eller tvinge produsenten til å selge produktet til samme pris som et produkt som er billigere å produsere. Womack & Jones (2003) spesifiserer at å produsere de feile godene eller servicen på den riktige måten er sløsing. **Verdistrømmen** er definert som de aktivitetene som kreves for å designe, bestille og levere et spesifikt produkt fra etterspørsel til kundens hånd (Womack and Jones 2003).

### 2.1.2 Flyt

Flyt er definert som den progressive oppnåelsen av arbeid langs verdistrømmen, slik at et produkt går fra etterspørsel til ferdig produkt, uten stopp, skroting eller gjentakelse av arbeid (Womack and Jones 2003).

### 2.1.3 Just-in-time

I sammenheng med Lean betyr **Just-in-time (JIT)** å produsere/levere det nødvendige arbeidet i nødvendig mengde til nødvendig tid (Monden 2011). JIT er sett på som en av to grunnpilarer i TPS (Lean Enterprise Institute 2003).

### 2.1.4 Jidoka

Den andre grunnpilaren i TPS er Jidoka (Lean Enterprise Institute 2003). Begrepet går ut på at automatiske sensorer i maskinene kan oppdage feil eller unormalheter i produksjonsenhetene og stoppe hele produksjonssystemet. Jidoka er på engelsk ofte kalt *autonomation*, som er et ord satt sammen av *automation* og *human*, og beskriver hvordan maskinen har menneskelige egenskaper til å skille gode deler fra defekte deler. Konseptet belyser viktigheten av å ikke videresende et dårlig produkt eller informasjon som skaper problemer nedstrøms i systemet. Ved å stoppe hele systemet øker kvaliteten i produksjonen da problemet kan bli oppdaget og eliminert ved problemets rot.

### 2.1.5 Kaizen

**Kaizen** kan oversettes fra japansk som «forandring til det bedre» eller «kontinuerlig forbedring» (Moore 2007). Å streve etter å stadig forbedre seg er sentralt i Lean-tankegangen. Det overordnede målet for Kaizen er å oppnå perfeksjon i kvalitet, kost og leveranse simultant for et produkt. Æresformann Fuijo Cho i Toyota sammenligner Kaizen som selve sjelen i TPS og forklarer at ingeniører, ledere og arbeider kontinuerlig samarbeider for å systematisere

produksjonsaktiviteter og identifisere relative små forandringer som kan gjøre produksjonen mer produktiv (Liker and Hoseus 2008).

Sentrale aktiviteter i Kaizen er 5S, standardisering og eliminering av sløsing (Moore 2007). 5S står for «sort, straighten, scrub, systemize, standardize» og beskriver hvordan en bedrift, avdeling eller arbeidslag bør gå fram for å gjøre arbeid og produksjon oversiktlig og derfor enklere å gjøre effektiv. Det siste punktet i 5S er standardisering og ansees som svært viktig i Kaizen. Standardiseringen av metoder og produkter er i Toyota en grunnlinje for forbedringen i bedriften og produksjonen (Liker and Hoseus 2008). Standarden reflekterer den nåværende beste, letteste og sikreste måten å jobbe på og ansees som den beste måten å bevare ekspertise på (Moore 2007). Eliminering av sløsing handler om å spare kostnader ved å kutt ut handlinger som ikke bidrar til verdi i produktet og prosessen. Ved riktig bruk av Kaizen er en bedrift mer prosess-orientert enn resultats-orientert. Aktørene i Kaizen skal ifølge Moore (2007) bruke følgende verktøy og metoder:

- Prinsippet om Deming kvalitetssyklus med Plan, Do, Check, Act (PDCA). Eller Six Sigma-konseptet med Define, Measure, Analyze, Implement, Control (DMAIC).
- Standardize, Do, Check, Cycle (SDCA).
- Kvalitet, kostnad og leveranse er tre simultane mål -Kvalitet settes alltid høyest
- Relater til data: Samle data, verifiser, analyser og handle.
- Gi aldri fra deg et defekt produkt eller unøyaktig informasjon.

### 2.1.6 Variabilitet og buffer

To begreper som er viktige for å forstå teorien bak taktproduksjon er variabilitet og buffer. Disse begrepene er sentrale i teorien om Lean, men gjelder for alle typer produksjonssystemer. **Variabilitet** betyr generelt foranderlighet og i produksjonsteorien refereres begrepet til produkt- eller prosessvariabilitet (Drevland 2019). Produktvariabilitet relateres til varieteten i kvalitative egenskaper ved et produkt. For eksempel kan en vare være av god kvalitet eller defekt. Prosessvariabilitet relateres i hovedsak til varietet i prosessetid. For eksempel hvor lang tid det tar å montere en del på en bil i et produksjonssystem. Variabiliteten kan deles inn i enten transformasjons- eller flytvariabilitet. Økende variabilitet vil alltid gi lavere ytelse i et produksjonssystem (Hopp and Spearman 2011).

For å håndtere variabilitet brukes **buffer** (Drevland 2019). En buffer i et produksjonssystem vil bestå av en kombinasjon av ledig kapasitet, inventar og/eller tid (Hopp and Spearman 2011). For eksempel vil en kapasitetsbuffer kunne bli trigget dersom et produksjonssystem ikke produserer raskt nok for å nå en endelig tidsfrist. I et annet tilfelle kunne det vært hensiktsmessig med en tidsbuffer for å ta opp variabiliteten i produksjonstid ved å sette av mer tid enn det som er estimert til å være nødvendig. Hopp & Spearman (2011) mener at dersom det ikke benyttes buffere i et produksjonssystem, vil det få konsekvenser for systemet på et senere tidspunkt og kaller dette en «pay-me-now-or-pay-me-later»-lov. For å forklare loven bruker Drevland (2019) et eksempel om et produksjonssystem uten noe form for kapasitetsbuffer og hvordan den minste feil vil gi en forsinkelse i produksjonen og vil gi en ikke-planlagt og uønsket tidsbuffer nedstrøms i produksjonen.

### **2.1.7 Push- og pullsystemer**

To sentrale begreper i Lean-litteraturen er **push** og **pull** som referer til hvordan logistikken i et produksjonssystem utføres (Kalsaas et al. 2017). Dette er to fundamentale forskjellige tilnærminger til hvordan arbeid eller leveranser blir tilført et produksjonssystem (Drevland 2019). Pull-prinsippet er tradisjonelt blitt brukt og baserer forhåndsbestemte logistikkplaner på faktisk eller spådd etterspørsel. I ett pull-system tilføres arbeid eller leveranser basert på systemets status (Hopp and Spearman 2011). Womack & Jones (2003) definerer pull-systemet som et produksjonssystem der ingenting produseres av aktiviteten oppstrøms (leverandøren) med mindre aktivitet nedstrøms (kunden) gir signal om at en leveranse er nødvendig.

I virkeligheten vil det alltid være en blanding av push og pull i et system (Drevland 2019). Kalsaas et al. (2017) argumenterer for at prinsippet om pull er en idealtilstand. Det medfører at en bør bruke pull-prinsippet når en kan og push-prinsippet når pull ikke er mulig, for å opprettholde flyt og produktivitet.

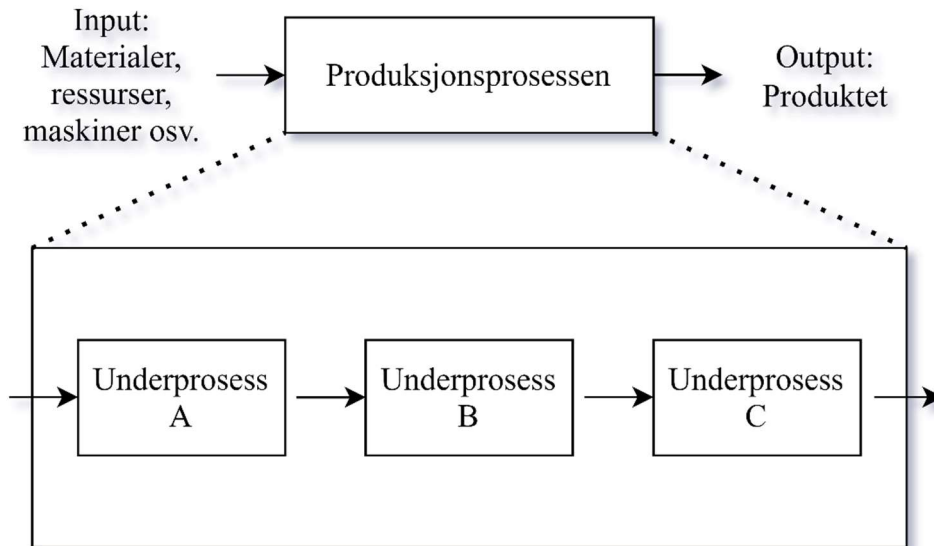
## **2.2 Transformasjon – Flyt – Verdi – teorien**

Koskela (2000) utviklet på 1990-tallet Transformasjon-Flyt-Verdi-teorien (TFV-teorien). Koskelas doktorgradsarbeid ser på hvordan produksjonssystemer historisk sett har vært dominert av de tre ulike tilnærmingene nevnt over. Teorien er sentral i utviklingen av LC og dagens produksjonstilnærming i byggebransjen (Kalsaas et al. 2017). I dette delkapittelet forklares de tre begrepene nærmere.

### **2.2.1 Transformasjon**

Koskela (2000) mener den dominerende teoretiske modellen til produksjon gjennom det 20. århundre er transformasjonskonseptet. Input blir transformert gjennom produksjonsprosessen til output. For eksempel blir råmaterialer som tømmer, isolasjon, spiker osv. (input) gjennom transformasjonsprosessen (produksjonsprosessen) til et hus (output). Denne transformasjonsprosessen kan dekomponeres til flere underprosesser som visst i Figur 1. Output fra en underprosess fungerer som input i den neste underprosessen.



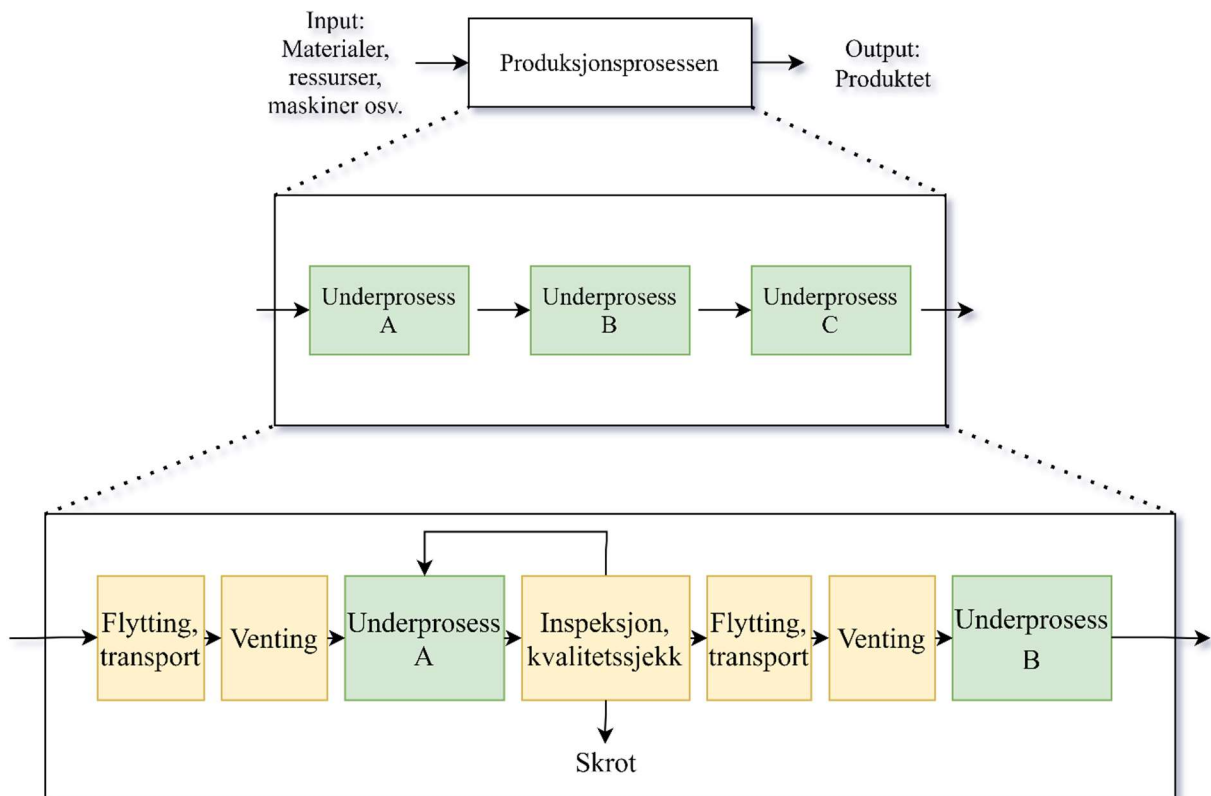


**Figur 1 – Produksjonsprosessen i et transformasjonsperspektiv, delt inn i et hierarki av underprosesser(basert på Koskela, 2000)**

Ved optimalisere eller minimalisere kostnadene til underprosessene vil hovedprosessen bli optimalisert. Denne påstanden baserer seg på at underprosessene er uavhengige prosesser, noe (Koskela 2000) mener de ofte ikke er i byggebransjen. Underprosessene kan derimot bli gjort uavhengige gjennom bruk av buffere.

### 2.2.2 Flyt

Drevland (2019) påpeker at transformasjonskonseptet kun tar for seg de verdiskapende aktivitetene i underprosessene. Når produksjonsprosessene dekomponeres vil det resultere i ikke-verdiskapende aktiviteter mellom de verdiskapende aktivitetene, som for eksempel transport, kvalitetssikring og venting som illustrert i Figur 2.



**Figur 2 – Flytkonseptet av produksjon (basert på Koskela, 2000)**

Disse mellomliggende aktivitetene betegner Koskela (2000) som flytprosessen. Han påpeker at flytaktivitetene også må være verdiskapende og nevner de seks følgende tiltakene for å eliminere sløsing og dermed øke produktiviteten:

- Redusere andelen ikke-verdiskapende aktiviteter
- Redusere leveringstiden
- Redusere variabilitet
- Forenkle produktet, redusere antall deler og avhengigheter
- Øke fleksibiliteten
- Gjøre planer og mål synlig for alle i prosjektet ved å visualisere flyten

### 2.2.3 Verdi

Koskela (2000) argumenterer for at verdi og verdiskapning handler om at produktet som leveres må tilfredsstille de krav og forventninger som er satt av kunden.



Figur 3 – Verdiskapning mellom leverandør og kunde (basert på Koskela, 2000)

Figur 3 viser forenklet hvordan verdiskapningsprinsippet fungerer. Det er kunden som definerer kravene og hva som er verdi, mens leverandører produserer verdien i form av produkter og tjenester.

## 2.3 Aktivitets- og lokasjonsbasert planlegging

Kenley and Seppänen (2010) deler planleggingen i byggeprosjekter inn i to typer: aktivitets- og lokasjonsbasert. Den aktivitetsbaserte metoden å planlegge på baserer seg på at diskrete aktivitetene som må gjennomføres i prosjektet settes sammen i et. Aktivitetenes rekkefølge og varighet blir bestemt etter de logiske forbindelsene mellom aktivitetene er kartlagt. Det skiller mellom deterministisk og probabilistisk aktivitetsbasert planlegging. Den førstnevnte brukes for å finne den raskeste gjennomføringstiden til et prosjekt. Her er Critical Path Method (CPM) mye brukt for å se hvilke aktiviteter som avhenger av hverandre eller om aktiviteter kan gå parallelt for å avdekke den raskeste fremdriften i et prosjekt. Probabilistisk aktivitetsbasert planlegging legger fokus på hvor stor sannsynlighet det er for at enkelte aktiviteter blir gjort innen fristen og lager et risikobilde av prosjektet.

Den andre tilnærmingen er lokasjons- eller stedsbasert planlegging. Kenley and Seppänen (2010) skriver at metoden retter søkelyset på ressursene som forflyttes gjennom lokasjonene i prosjektet. De definerer oppgaver som et sett med aktiviteter som repeteres på flere steder i produksjonen. Prosjektets kan da visualiseres ved å se på oppgavene som representerer alle aktivitetene som skal gjøres på en lokasjon i prosjektet.

## 2.4 Last Planner System

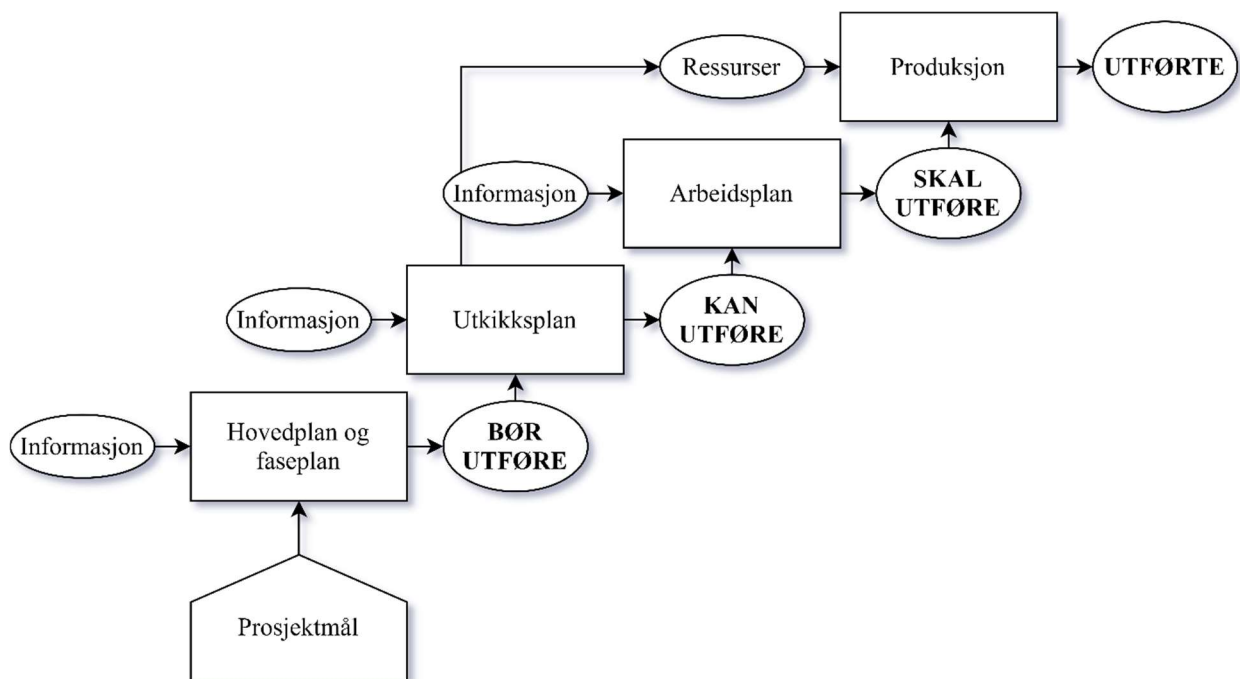
Last Planner System (LPS) er en del av ryggraden i LC. LPS er et aktivitetsbasert system for å planlegge og styre produksjonen i prosjektbasert arbeid. Systemet ble utviklet på starten av 1990-tallet av Ballard og Howell (Ballard, 2000). Ballard hadde erfart at så lite som litt over halvparten av de planlagte aktivitetene i byggeprosjekter ble gjennomført til rett tid ved bruk av tradisjonelle planleggingsverktøy. LPS handler i grove trekk om å involvere *den siste planleggeren* i produksjonen for å transformere det som *burde* bli gjort til det som *kan* bli gjort. *Den siste planleggeren* er et begrep Ballard bruker på aktørene som utfører det siste

planleggingsarbeidet til en aktivitet før den utføres. I praksis er dette ofte driftsledere, baser eller arbeidere som skal utføre arbeidet og har spesialkunnskap og erfaring på arbeidet som skal utføres. Tanken bak er å øke påliteligheten til planene som blir lagt og dermed øke produktiviteten. Ved å bruke de siste planleggerne til å lage ukentlige arbeidsplaner gir det en økt forpliktelse for de som gjennomfører arbeidet. Dette ser Ballard på som å transformere det som *kan* bli gjort inn til det som *vil* bli gjort. Ballard (2009) trekker frem de fem følgende prinsippene fra Last Planner:

- Planlegg mer detaljert jo nærmere en kommer aktiviteten eller arbeidet som skal utføres.
- Lag planene for arbeidet sammen med de som skal utføre det.
- Identifiser og håndter hindringer for det planlagte arbeidet i grupper.
- Sørg for pålitelige forpliktelser for at arbeidet blir utført.
- Lær fra feil.

### 2.4.1 Planhierarki

Sentralt i LPS står hierarkiet i plantyper (Kalsaas et al. 2017). Figur 4 viser oversikten mellom planene i hierarkiet og hvordan de henger sammen med LPS sitt mål om å transformere planer fra hva som *bør* utføres til det som *skal* utføres. Øverst i hierarkiet er **hovedplanen** (Eng: *Master Schedule*) som omfatter hovedmilepælene i et prosjekt som start- og sluttdato eller tett bygg, med mer. Milepæler kan betegnes som porter der det skal skje en leveranse. Noe skal være komplementert og leveres videre i leveransekjeden. Bruk av milepæler øker stabiliteten og forutsigbarheten i prosjektet.



Figur 4 – Kalsaas et al. (2017) tolkning av oversikten av mekanismene i LPS

Under hovedplanen i hierarkiet er **faseplanen** (Kalsaas et al. 2017). Faseplanen utarbeides i tett tilknytning til hovedplanen med faseinndeling mellom milepælene. I selve faseplanleggingen er søkelyset på å identifisere en god produksjonsmessig rekkefølge på arbeidspakker i fasene. I LPS benyttes bakover-planlegging for å etablere pullprinsippet i prosjektet. Ved bruk av

metoden er det også enklere å redegjøre hvilke avhengigheter det er mellom fag. Bakoverplanlegging begynner med å planlegge seg bakover i tid fra en milepæl. Her er post-it-lapper ofte benyttet til å illustrere rekkefølgen og avhengighetene til de forskjellige fagene. Det er fagenes egne representanter som flytter lappene og diskuterer seg fram til den mest hensiktsmessige rekkefølgen og omfanget for å løse oppgavene. Metoden gir fagene innsyn i andre fags problematikk og klargjør i et lean-perspektiv hva som er verdi for faget nedstrøms (kunden) til faget oppstrøms (leverandøren).

I neste plantype, **utkvikksplanen**, handler det om å gjøre arbeidspakkene og aktivitetene sunne (Kalsaas et al. 2017). Dette innebærer å fjerne hindringer og begrensninger for at arbeidet skal kunne gjennomføres ved en systematisk tilnærming. Det er ofte brukt syv forhold som sjekkes for å vurdere om en aktivitet er sunn eller ikke. Følgende syv forhold bør ligge til rette for å vurdere en aktivitet eller arbeidspakke som sunn:

1. Nødvendig produksjonsunderlag
2. Bemanning,
3. Materialer
4. Utstyr
5. Foregående aktivitet er komplett
6. Tilgjengelighet til arbeidsplass
7. Omgivelsene

Ballard (2000) fremhever at utviklingsplanleggingen skal opprettholde et etterslep av håndterbart arbeid som er klart til å gjennomføres. Som nevnt tidligere i kapittelet er det i stor grad utviklingsplanleggingen at man sørger for arbeidsflyt i prosjektet.

**Arbeidsplanen** tar for seg de neste 2-4 ukene i prosjektet og utarbeides på et tverrfaglig plan (Kalsaas et al. 2017). Tverrfagligheten og involveringen av fagene er spesielt for LPS. Under arbeidsplanen er **lagsplanen** som er en én-faglig plan basert på arbeidsplanen. Lagsplanen utarbeides i samarbeid mellom lagets bas eller formann og arbeiderne og skal sørge for at alle vet hva de skal gjøre den neste uken.

#### 2.4.2 Styring av produksjonsenheter

I følge Ballard (2000) kan LPS deles inn i to komponenter: styring av produksjonsenheter og styring av arbeidsflyt. En produksjonsenhet kan betegnes som et arbeidslag eller en prosjekteringsgruppe (Ballard 2000). Ved å styre og kontrollere produksjonsenheter menes det å koordinere utførelsen av arbeid innad i enheten. Ballard (2000) mener et planleggingsystem må produsere planer med høy kvalitet. I dette legger han at arbeidet som planlegges må være veldefinert, aktivitetene er satt opp i den beste rekkefølgen, ha riktig arbeidsmengde og være realiserbar. For å måle kvaliteten på planene som produserer benyttes det i LPS Prosent Plan Utført (PPU). PPU er en enkel indirekte målemetode som tar for seg hvor mye av det planlagte arbeidet som faktisk er utført og beregnes enkelt ved bruk av ligning 1. Et annet parameter som benyttes er Task Made Ready (TMR) (Hamzeh et al. 2008). TMR måler hvor stor andel av de planlagte aktivitetene som er klar gjort til å gjennomføres og beregnes enkelt ved bruk av ligning 2. Med andre ord er dette aktiviteter som starter som planlagt. Begge metodene er ofte brukt over tidsrommet på en arbeidsuke.

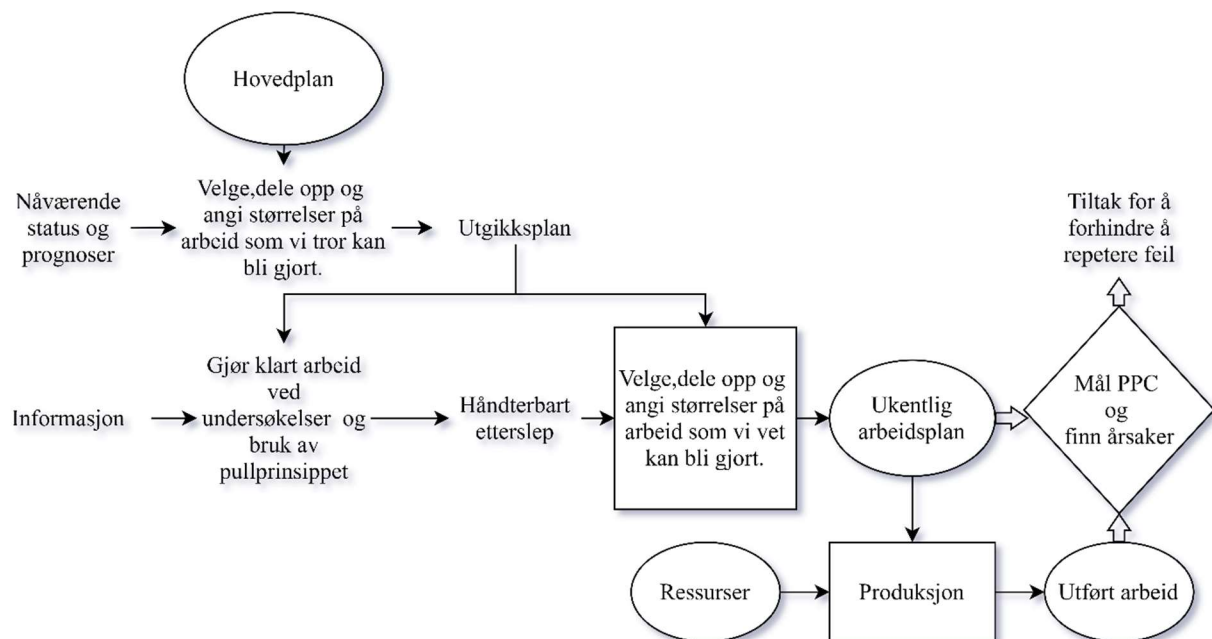
$$(1) \text{ PPU } [\%] = \frac{\text{Antall utførte aktiviteter}}{\text{Antall planlagte aktiviteter}} \cdot 100\%$$

$$(2) \text{ TMR } [\%] = \frac{\text{Antall planlagte aktiviteter klargjort}}{\text{Antall planlagte aktiviteter}} \cdot 100\%$$

PPU er et nyttig verktøy for å oppdage hvilke aktiviteter som ikke utføres i henhold til produserte planer (Ballard 2000). Det gir også et mål på hvor forpliktet BAS og formenn er til planene som er produsert og gir en plattform for videre læring ved å analysere årsakene og rotårsakene til at planene ikke ble gjennomført.

### 2.4.3 Styring av arbeidsflyt

Hensikten med å styre arbeidsflyten er å få arbeid til å flyte mellom produksjonsenhetene i en ønsket rekkefølge og hastighet (Ballard 2000). Mens det å styre produksjonsenheter er å koordinere utførelsen av arbeidet innad, er det å styre arbeidsflyten det å koordinere flyten av prosjektering, planer, leveranser og installasjoner mellom og gjennom produksjonsenhetene. I LPS er det utviklingsplanleggingen som tar for seg arbeidsflyten. Figur 5 viser hvordan utviklingsprosessen henger sammen med LPS.



Figur 5 – Last Planner System med utviklingsplanlegging i fokus (basert på Ballard, 2000)

### 2.4.4 Hindringsanalyse

Et viktig element i utviklingsplanleggingen i LPS er hindringsanalysen (Ballard 2000). Hver oppgave eller aktivitet i utviklingsplanen blir analysert for å finne ut hva som må bli gjort før produksjonen starter og hvilke forutsetninger som må være til stede. For eksempel kontrakter,

tillatelser, produksjonsunderlag, materialer, tilgjengelige arbeidere og mer. Når hindringene er identifisert legges det planer for hvordan de kan elimineres eller jobbes rundt. Den siste planleggeren og reaksjonene på hindringsanalysen kan gi en tidlig varslings om man kan klare å sette i gang aktiviteten i tide eller om den må utsettes for å ha på plass nødvendige forutsetninger.

#### **2.4.5 LPS i prosjekteringsfasen – et produksjonssystem fra prosjektering til overlevering**

Schöttle and Nesensohn (2019) påpeker at arbeidsflyten i et prosjekt blir bedre av å implementere kunnskap om LPS i alle prosjektets faser. De ser på det å designe et produksjonssystem som spenner fra prosjekteringsfasen og hele veien til overlevering til kunde som avgjørende for å lykkes i et byggeprosjekt. Et av målene med produksjonssystemet bør være å gi deltager kunnskap om andres perspektiv i prosjektet.

### **2.5 Daily Huddle**

Daily Huddle er daglige møter i et prosjekt med formål om å optimalisere bruken av ressurser i prosjektet (Paez et al. 2005). Møtene lar produksjonsenhetene og prosjektledelsen kommunisere med hverandre og rapportere om hva som er produsert og eventuelle utfordringer de har hatt eller som kommer. På denne måten bidrar møtene til å håndtere mulige hindringer ved å sette i verk tiltak før det oppstår forstyrrelser i produksjonen.

Røtvold (2017) påpeker at Daily Huddle er effektivt verktøy i kombinasjon med taktproduksjon. Verktøyet kan bli brukt til å gi umiddelbare tilbakemeldinger på arbeid som må gjøres for at produksjonsenheter skal overholde takttiden. Møtene avholdes hver dag på byggeplass, ledet av en representant fra prosjektledelsen, med representanter fra alle fag til stede. Røtvold mener at de hyppige møtene med alle aktørene øker gjennomsiktigheten i prosjektet og bidrar til at alle deltagerne – det vil si fagene – planlegger sin egen produksjon bedre fordi de alltid er på «tå hev».

### **2.6 Location-Based Management System**

Location-Based Management System (LBMS) er i likhet med takt en lokasjonsbasert metode for å strukturere, gjennomføre og kontrollere et byggeprosjekt på (Frandsen et al. 2015; Seppänen et al. 2010). Teori om LBMS er lagt til denne oppgaven fordi metoden er nært beslektet takt. Kontroll av produksjonen i LBMS er i større grad utforsket i tidligere litteratur sammenlignet med takt, og er derfor av interesse for sammenligning med funnene fra taktproduksjonen i denne oppgaven. I de følgende delkapitlene blir først planleggingsmetoden i LBMS lagt fram, før det blir forklart hvordan metoden kan brukes som et kontrollverktøy i produksjonen. Til slutt presenteres begrepet *cascading delay chains*.

#### **2.6.1 LBMS: planlegging**

Planleggingen i LBMS starter med å dele inn bygget i områder (Kenley and Seppänen 2010). Områdene er igjen inndelt i hierarknivåer slik at høyere nivåer inneholder informasjonen fra de lavere nivåene. Et område inneholder informasjon relatert til omfanget av det som skal bygges. Hvert nivå relateres til hver sine detaljeringsgrader som tjener hver sine formål. De

øverste nivåene er lite detaljert og blir brukt for eksempel til å optimalisere rekkefølgen områdene blir bygget i. Disse nivåene er uavhengige av hverandre og derfor er det mulig å endre rekkefølgen på dem eller velge å bygge de samtidig. De mellomste nivåene er ofte brukt til å planlegge for arbeidsflyten i produksjonen, mens de laveste nivåene omhandler detaljplanlegging. Et område inneholder følgende data:

- Hvilke bygningsobjekter området inneholder
- Prosjektert og faktisk mengde i området
- Hvordan bygningsobjektene monteres
- Planlagt og faktiske materialkostnader
- Byggekostnad – timeverk og andre utgifter i området

Kenley og Seppänen forklarer at arbeidsmengden til en aktivitet i et område avgjør hvor lang tid aktivitet bruker i området. Tiden regnes ut ved å dividere arbeidsmengden på produktiviteten per arbeider og på antall arbeidere. Hvert område kan variere i arbeidsmengde for de forskjellige aktivitetene og kan derfor gi varierende tid i hvert område. LBMS bruker CPM for å lage flytlinjer som brukes for å visualisere hvor lang tid et fag bruker i de forskjellige områdene. Flytlinjer lages for hver aktivitet og settes opp i samme diagram. Formålet med metoden er å optimalisere flyten i bemanning ved å la aktiviteter jobbe kontinuerlig fra oppstart til den er ferdig, uten å måtte vente på arbeid fra andre aktiviteter.

### **2.6.2 LBMS: kontrollsystem**

For å kontrollere produksjonen ved bruk av LBMS brukes de planlagte flytlinjene som sammenligningsgrunnlag for den faktiske produksjonen på byggeplass (Seppänen et al. 2010). Hver arbeidsoppgave i produksjonen er linket til de planlagte flytlinjene. Dette gir til enhver tid status på hvordan produksjonen er i forhold til planlagt produksjon. Dette verktøyet brukes som et tidlig-varslings-system ved å anta at den seneste målte produktiviteten vedvarer lineært videre i produksjonen og markeres som en rett linje i samme diagram flytlinjene. Dersom den antatte videre produksjonslinjen krysser neste aktivitet sin flytlinje vil det oppstå forsinkelser. På denne måten blir det synlig om en aktivitet rekker å bli ferdig i et område før neste aktivitet eller om det må settes i verk tiltak for å øke produksjonen. Kontrollsystemet behøver ukentlig eller daglig oppdateringer og oppfølging.

Det er også gjort studier som viser til økt produksjonskontroll ved bruk av LBMS i kombinasjon med LPS (Seppänen et al. 2010, 2015). En kritisk del av generell produksjonskontroll er å synliggjøre så mange potensielle problemer og hindringer som mulig, så tidlig som mulig for å ha nødvendig tid til å sette i verk tiltak. Ved å kombinere LBMS og LPS blir problemer identifisert tidligere enn ved bruk av et system alene (Seppänen et al. 2015). Hindringsanalysen og bruk av ukentlig planlegging og rotårsaksanalyse fra LPS identifiserer en rekke potensielle problemer, mens LBMS kontrollverktøy med flytlinjene avslører andre.

### **2.6.3 Cascading delay chains – Rekker av påfallende forsinkelser**

Et fenomen fra LBMS er *cascading delay chains* – også kalt *cascading delays* – som betegner påfallende forsinkelser som oppstår på grunn av tidligere forsinkelser, som igjen skaper ytterligere forsinkelser (Seppänen 2009). Cascading delays er med andre ord rekker med



avhengige forsinkelser. I LBMS forstyrrer disse rekkene arbeidsflyten i produksjonen og forårsaker sløsing. Seppänen påpeker til tross for dette at cascading delays ofte ikke forstyrrer prosjektets overordnede fremdriftsplan på grunn av bruken av buffere i LBMS.

## 2.7 Takt

Ordet takt er fra tysk oversatt til engelsk som *beat* og referer ofte til rytme eller en balansert gjentatt flyt (Haghsheno et al. 2016). I produksjon er takt i prosesser benyttet lenge før den industrielle revolusjonen da de allerede på 1600-tallet brukte det til bygging av skip. Senere har en av de mest berømte brukerne av takt-basert produksjon vært Henry Ford, og på slutten av 1900-tallet har takt vært svært sentralt i lean-tankegangen og TPS.

I byggeindustrien blir byggingen av Empire State Building i New York på 1930-tallet ansett som et av de første prosjektene der bruk av taktproduksjon er dokumentert (Haghsheno et al. 2016). I dag er taktproduksjon utbredt blant annet i brobygging, tunnelarbeid og anleggsarbeid. Det disse prosjektene ofte har til felles er en høy grad av repeterende arbeid. Der prosedyrer og aktiviteter repeteres med høy frekvens vil taktproduksjon lønne seg ved bruk av stordriftsfordelene det drar med seg.

Taktplanlegging i bygninger har opp til nylig ikke vært benyttet i stor grad (Haghsheno et al. 2016). Dette skyldes nok tankegangen om at et bygg har forskjellig design i hver etasje og ikke nok gjentakelse i designet. Dersom en ser nærmere på byggeprosessen vil en se at den består av mye gjentakende arbeid. For eksempel i bygg som hoteller og boligblokker der rommene og leilighetene er tilnærmet like, har det vist seg å være gunstig å benytte seg av taktplanlegging.

### 2.7.1 Taktplanlegging i bygninger

Frandsen et al. (2013) forklarer hvordan taktplanlegging i byggkonstruksjoner er en lokasjonsbasert metode der arbeidsområdet, for eksempel en etasje, deles inn i arbeidssoner som bør inneholde tilnærmet like arbeidsmengder. Ulikt fra fabrikkproduksjon der det er produktet som flytter seg mellom arbeidsstasjonene, er det i bygg arbeidslagene (fagene) som flytter seg mellom arbeidssonene i produktet (bygget). Alle fagene skal bruke like lang tid i hver sone, denne tiden defineres som takttiden og sørger for at faget oppstrøms leverer over en ferdig arbeidssone til faget nedstrøms samtidig som dette faget leverer fra seg sin daværende sone. Denne typen samtidige overleveringer mellom alle fagene i produksjonslinjen blir av Tommelein et al. (1999b) beskrevet som «Parade of Trades».

Tiden fagene faktisk bruker for å ferdigstille sitt arbeid i en sone varierer fra fag til fag (Frandsen et al. 2013). Dersom takttiden blir bestemt ut ifra det faget som bruker mest tid i sonen må de fagene som bruker mindre tid enten redusere antall arbeidere i laget, gjøre arbeid utenfor taktplanleggingen i prosjektet, også kalt bufferarbeid, eller lignende løsninger. Dersom det vurderes som mer hensiktsmessig å sette takttiden lavere må fagene som bruker lengst tid bruke metoder for å tilpasse seg takttiden. For eksempel kan produksjonen økes ved bruk av prefabrikking eller ved å øke antall arbeidere i laget. Haghsheno et al. (2016) deler tiltakene som kan gjøres for å tilpasse fagene til den satte takttiden inn i tre kategorier:

- Forbedring: Øke eller redusere antall arbeidere på laget.
- Utjevning: Flere fag kan jobbe i samme sone for å utjevne tidsbruken til de andre fag.

- Rekkefølgen på fagene kan bli endret, optimalisert eller byttet ved å bruke nye produkter eller prosesser.

## 2.7.2 Planleggingsprosessen ved bruk av taktplanlegging

Lehtovaara et al. (2020) hevder at det er to tilnærminger til taktplanlegging: Takt Time Production (TTP) og Takt Planning and Takt Control (TPTC). Innholdet i de to planleggingsmetodene er i stor grad det samme, men avviker for eksempel i hvordan inndelingen av taktområdene gjøres. I TTP blir taktområdene inndelt ved å søke etter lik arbeidstetthet i områdene, mens i TPTC går inndelingen ut på å finne de minste repeterbare delene av prosessen. En til ulikhet mellom tilnærmingene er samarbeidet mellom fagene og prosjektledelsen. I TTP involveres fagene i beslutningstagningene, mens i TPTC er behovet for fagenes innspill mest sett på som datainnførsel til planleggingsprosessen. Frandson et al. (2013) foreslår seks faser for å utarbeide en taktplan. Det legges vekt på at selv om fasene er gitt i rekkefølge vil det være en iterativ prosess.

**Fase 1 – Informasjon- og datainnhenting:** Målet er å forstå produksjonssystemet som en helhet ved å samle inn erfaringstall og produksjonsdata fra hvert fag. Det må identifiseres eksakt hva som skal gjøres og hvor. I tråd med LPS kan det her være fordelaktig å samle erfaringene fra de som skal utføre jobben og la de estimere omfang og tidsbruk. En metode kan være å la den siste planleggeren (bas eller formann) markere på plantegningene hvor mye arbeid faget kan produsere på en dag eller uke. Det er svært viktig at planene til de ulike fagene her blir samkjørte og er realiserbare. Fase 1 bør gjøres i god tid før produksjonen starter.

**Fase 2 – Sonedefinering:** Takttiden blir definert som den tildelte tiden hvert fag får i en arbeidssone. Sonen er området som en overlevering vil bli kontrollert etter – det vil si taktområdet. Ideelt vil hvert taktområde i bygget omfatte arbeidspakker som tar like lang tid for et fag å overlevere. Sonene blir delt opp på bakgrunn av informasjonen som ble hentet inn i fase 1. På dette tidspunktet er ikke taktiden satt fordi det ikke er nok data for å bestemme den ennå.

**Fase 3 – Fagrekkefølgen:** Her identifiseres avhengigheter og grensesnitt mellom fagene i tverrfaglige samkjørings- og koordineringsmøter. I tråd med LPS benyttes pullprinsippet for å fastlegge rekkefølgen – det vil si bakoverplanlegging.

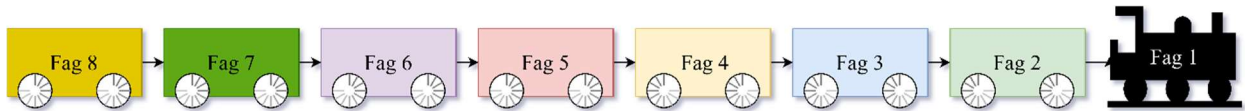
**Fase 4 – Balansere arbeidsflyten:** Når rekkefølgen og sonene er tildelt kan arbeidsflyten balanseres. Dette innebærer at fag som jobber fortere gjennom sonene enn andre kanskje bør slakke på tempoet, eller andre må øke tempoet. Det sees også på hvordan sonene kan justeres for å balansere arbeidsflyten.

**Fase 5 – Bestemme fagenes tidsbruk i sonen:** På bakgrunn av erfaringer og eventuelle prøver bestemmes den faktiske gjennomføringstiden i sonene eller taktiden så nøyaktig som mulig. Denne fasen henger tett sammen med fase 4 da arbeidsflyt ikke er noe som opprettes med engang, men vil bli etablert gradvis gjennom en kontinuerlig læringsprosess.

**Fase 6 – Produksjonsplanlegging:** Den endelige produksjonsplanen skal bestemmes. Arbeidet i sonene bør studeres nærmere og deles inn i mindre aktiviteter for å avdekke eventuelle brister for å nå den ønskede overleveringsraten. Ved å identifisere flaskehalser eller brister tidlig kan korrektive tiltak settes inn lenge før produksjonen er startet i sonen.

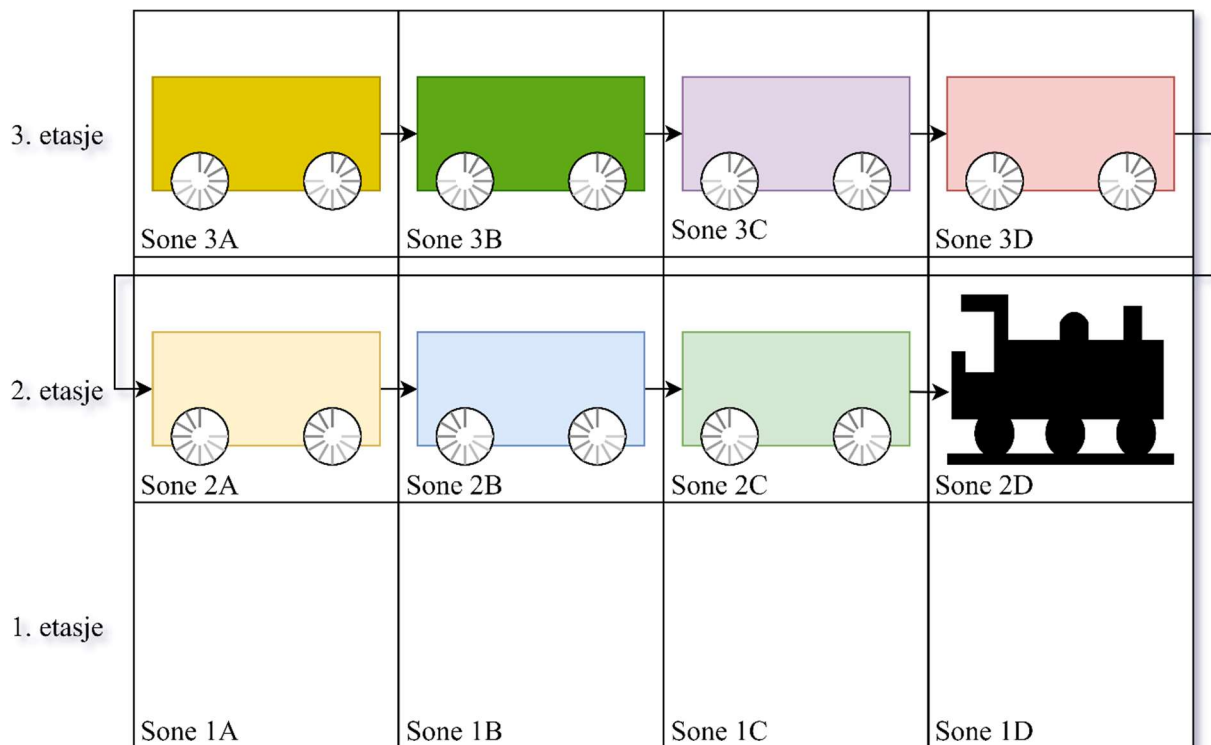
### 2.7.3 Takt-tog

Taktplanlegging kan illustreres som et tog med vogner som flytter seg gjennom taktområdene (Haghsheno et al. 2016). De forskjellige vognene representerer fagene eller arbeidslagene som skal jobbe i den samme sonen til enhver tid. Det vil si at en vogn kan inneholde flere fag hvis dette er sett på som hensiktsmessig for å balansere arbeidsmengden i sonen. I Figur 6 illustreres det hvordan vognene danner arbeidsrekkefølgen.



Figur 6 – Takt-toget med vognene som representerer fagene i arbeidsrekkefølgen

I dette eksempelet er det åtte vogner som er satt i rekkefølge og skal jobbe seg gjennom tre etasjers bygning som vist i Figur 7. Hver etasje blir i eksempelet delt inn fire arbeidssoner som betyr at det til sammen er  $3 \times 4 = 12$  forskjellige arbeidssoner. Vognene bruker like lang tid i hver arbeidssone før de flytter seg videre til neste sone. Takt-tog-illustrasjonen viser at alle vognene beveger seg like fort, dermed samtidig fra sone til sone.



Figur 7 – Takt-toget med vognene i arbeidssonene

I Figur 8 er taktplanen vist med hvilke fag som er i hvilke soner til enhver tid. I eksempelet er det brukt udefinerte taktperioder og en kan se at takt-toget bruker til sammen 19 taktperioder for at alle åtte fagene skal gjøre seg ferdig i alle de 12 sonene.



Figur 8 – Taktplan som viser hvilken arbeidssone hver vogn jobber i til hvilken tid

## 2.7.4 Taktkontroll

Taktkontrollen overvåker fremdriften og er til for å opprettholde den nødvendige stabiliteten i produksjonen (Haghsheno et al. 2016). Ved korte kontrollsykluser mellom fagene har taktproduksjon potensialet til å detektere feil på et tidlig tidspunkt. Taktkontroll går ut på kontrollere produksjonen i det området den foregår i (Binniger et al. 2017a). Daglige møter på produksjonsområdet er sett på som viktig for å sjekke den faktiske fremdriften mot det som er planlagt. Det er byggeledelsen i prosjektet som er ansvarlig for møtene der fagene, representert av for eksempel basene, er deltager. For å motivere deltagerne til å delta i møtene sees involvering av deltagerne i problemløsningsprosessen på som et effektivt initiativ. I møtene blir eventuelle forsinkelser eller hindringer analysert, og tiltak vil bli satt i verk for å opprettholde takten. Binniger et al. (2017) lister opp følgende nøkkelpunktet for å overvåke og kontrollere taktproduksjonen:

- Antall arbeidere per fag i en sone
- Antall utstyr
- Rate med utfordringer angående opprettholdelse av takten
- Antall feil og mangler i produksjonen
- Sikkerhetsindikatorer som antall ulykker eller brudd på sikkerhetsregler
- Antall forstyrrelser for produksjonen
- Informasjon om ryddighet og renhet

### 2.7.4.1 Justeringsmekanismer for å reagere på forsinkelser i takt

Haghsheno et al. (2016) argumenterer for at en taktplan ikke er et låst dokument, men et dynamisk dokument som må endres i løpet av utførelsesfasen. Det er viktig med justeringsmekanismer for å reagere på forstyrrelser i taktproduksjonen. Binniger et al. (2017b) legger frem 31 forslag til justeringsmekanismer i taktproduksjon og trekker fram fem av dem som mest brukt: *Avkobling av taktområde, buffer-vogn, forskjellige faser, myk start og togstans*.

Sistnevnte justeringsmekanisme – det vil si togstans – beskriver Binniger et al. ved at hele takttoget og derfor taktproduksjonen stoppes. Dette benyttes som en reaksjon på

produksjonsforstyrrelser som ikke kan løses umiddelbart. Taktproduksjonen og takttoget starter opp igjen nå forstyrrelsen er håndtert. For eksempel kan det være en vogn som ikke blir ferdig i et taktområde før overlevering til neste. Toget stanses, og vognen gjør seg ferdig i området før produksjonen igjen starter som normalt. Dette medfører en forsinkelse i den overordnede fremdriften i prosjektet.

### 2.7.5 Modningsnivåer i takt

Tilnærmingen til takt varierer mellom firmaer og individuelle prosjekter (Frandsen et al. 2014; Lehtovaara et al. 2020b) For å belyse potensialet til bruk av takt i byggeprosjekter foreslår Lehtovaara et al. (2020a) tre nivåer for modenhet i gjennomføringen av takt: *Teknisk taktplanlegging, sosialintegrasjon & taktkontroll* og *kontinuerlig læring*, som vist i Tabell 1.

Tabell 1 – Modenhetsmodell for takt (Lehtovaara et al. 2020a)

Modenhetsnivå		Nivå
<b>Nivå 1</b>	<b>Teknisk taktplanlegging</b>	<b>Prosjekt</b>
R1	Produksjonsplanen møter kundens behov	
R2	Taktområder, taktiden og vognene er bestemt	
R3	Effektive verktøy for visualisering av planen	
<b>Nivå 2</b>	<b>Sosialintegrasjon &amp; taktkontroll</b>	<b>Prosjekt- og organisasjon</b>
R4	Involvering av prosjektets deltagere er forsikret	
R5	Logistikk er integrert i produksjonsplanen	
R6	Prosjekteringsprosessen er planlagt mot produksjonen	
R7	Bevissthet om normal produksjonssituasjonen	
R8	Hindringer blir håndtert gjennom kontinuerlig forbedring	
R9	Systematisk kvalitetssikring	
<b>Nivå 3</b>	<b>Kontinuerlig læring</b>	<b>Organisasjon og region</b>
R10	Formulering og utvikling av team	
R11	Integrert i kontrakter	
R12	Systematisk eliminering av sløsing i prosjekter	
R13	Industrialisering av logistikk og materialflyt	
R14	Standardisering, taktbaserte databaser	
R15	Forbedring gjennom KPI <sup>1</sup> -er og databasert beslutningstaking	

### 2.7.6 Takt og Location-Based Management System

Takt og LBMS er to lokasjonsbaserte, nært relaterte metoder for å strukturere arbeidet i et byggeprosjekt på (Frandsen et al. 2015). Tidligere i teorikapittelet ble effekten av kontrollverktøy fra LBMS, kombinert med LPS presentert. I litteraturen er det ikke gjort studier som beskriver effekten av LPS i kombinasjon med takt på lik linje som LBMS. Siden takt og

<sup>1</sup> KPI: Key Performance Indicator (Ying and Tookey 2017)

LBMS er nært beslektet er det interessant se på en sammenligning av metodene for å senere kunne drøfte funnene i denne oppgaven.

Frandsen et al. redegjør for de største forskjellene mellom metodene. I takt er tiden en produksjonsenhet bruker i hvert område lik og forhåndsbestemt, mens bemanningen justeres for å ferdigstille arbeidet i tide. I LBMS derimot, er strebes det etter å gjøre bemanningen i en produksjonsenhet konstant. Tiden en produksjonsenhet bruker varierer fra hvert område, avhengig av mengden arbeid som er i dem. En annen forskjell mellom produksjonsmetodene er at LBMS bruker flytlinjer for å forutsi mulige forsinkelser, mens takt har tradisjonelt ikke et kontrollsystem. Også bruken av buffere er ulik. I LBMS er det synlig og hyppig bruk av tidsbuffere mellom produksjonsenhetene. I motsetning til takt, hvor tidsbuffere mellom taktvognene er minimerte og ikke synlige.

## 2.8 Årsaker til forsinkelser i taktproduksjon

I dette delkapittelet presenteres årsaker til forsinkelser i taktproduksjonen funnet i eksisterende litteratur. Funnene er oppsummert i Tabell 2 og utdypes i de følgende underkapitlene.

**Tabell 2 - Funn fra litteraturstudie på utfordringer ved å opprettholde takten i taktplanlegging og produksjon**

<b>Årsak</b>	<b>Beskrivelse</b>
<b>Feil ved taktplanen</b>	Feil estimert arbeidsmengde i soner som gjør at arbeidet tar lengre tid enn den gitte taktiden forsinker taktproduksjonen.
<b>Feil ved overlevering</b>	Feil i produktet, for eksempel feil tolkning av toleransekrav eller feilbygging, fører til følgefeil hos fagene oppstrøms i produksjonslinjen og forsinkelser på grunn av oppretting eller omgjøring.
<b>Forsinkede leveranser til byggeplass</b>	Håndteringen av material- og ressursleveranser til byggeplassen er avgjørende for å opprettholde takten.
<b>Manglende arbeidskraft</b>	Manglende arbeidskraft hos et fag kan føre til forsinkelser og stopp i taktproduksjonen.
<b>Endringer fra kunde</b>	Seine endringer i designet fra kunder kan føre til at arbeid må gjøres om igjen.
<b>Manglende forpliktelse til taktplanen</b>	Deltagerne i form av ledere og fagansvarlige forplikter seg ikke til taktplanen.

### 2.8.1 Feil ved taktplanen

Det er skrevet og forklart mye om hvordan en taktplan bør utarbeides i litteraturen. Dette er nok ikke tilfeldig da feil ved taktplanen som er utarbeidet før produksjonen starter kan føre til store forsinkelser. Som forklart i teorikapittelet er det avgjørende å dele inn arbeidssonene i rett omfang og mengde for å opprettholde takten i produksjonen.

Inndelingen av taktområder som gjøres i taktplanleggingsfasen er ofte ikke ideelle på grunn av usikkerheten som knyttes til hvert fags arbeidsmengde og tidsbruk i sonene (Frandsen et al. 2013). Produksjonsunderlaget og modeller kan på tidspunktet sonene blir inndelt være ufullstendige og derfor ikke inneha nødvendig informasjon for å vurdere arbeidsmengden.

Frandsen et al. påpeker også at taktplanen er avhengig av at fagene estimerer riktig mengde og hvor fort de jobber. Dersom et fag ikke har estimert riktig arbeidsmengde kan det oppstå forsinkelser fordi faget ikke blir ferdig med arbeidet innen taktiden er omme. Dette kan også skyldes manglende informasjon hos de utførende fagene som for eksempel feilberegning av tørketid på maling (Alhava et al. 2019).

## 2.8.2 Feil ved overlevering

Et av hovedprinsippene i Kaizen og Lean er at en aldri skal levere fra seg feilinformasjon eller et ufullstendig produkt nedstrøms i produksjonslinje. Alhava et al. (2019) påstår at dette ikke alltid blir gjort ved bruk av taktproduksjon i byggebransjen. De viser til taktproduksjonen er sensitiv ovenfor forstyrrelser som sløsing, *making-do*/oppgave-reduksjon og ad-hoc-ledelse når det kommer til toleransekrav. Alhava et al. argumenterer for at ledetiden til taktproduksjonen på seks måneder kunne bli redusert med en hel måned dersom rotårsakene til sløsing ble avslørt, isolert og fjernet fra kulturen, vaner og prosesser.

En hovedkilde til sløsing blir betegnet som *making-do* eller oppgave-reduksjon. Koskela (2004) beskriver dette som oppgaver eller aktiviteter som blir startet uten all nødvendig informasjon tilgjengelig, eller utføre en oppgave der nødvendig informasjon blir oversett. Dette medfører retting og/eller stopp i produksjonen til følgende fag som kan skape.

Som et lignende problem er manglende forståelse for toleransekrav sett på som en ledende kilde til forstyrrelser i arbeidsflyten ved bruk av taktproduksjon (Alhava et al., 2019). Ad-hoc tilnærminger til toleransekrav fra ledelsen på byggeplassen fører til en ond sirkel med feil som ikke trenger å bli oppdaget ved overlevering til neste fag, men kan komme til syne senere i produksjonen. Talebi et al. (2016) hevder at problemer rundt toleransekrav i byggeprosjekter ikke bare leder til feil, men *chains of waste* som kan beskrives som følgefeilene én feil medfører i en produksjonslinje og lister opp følgende rotårsaker:

- Manglende standardisering
- Dårlig utførelse
- Manglende bestep praksis
- Ufullstendig produksjonsunderlag
- Ineffektive standarder på toleransekrav
- Manglende utdanning

Alhava et al. (2019) konkluderer med at byggeprosessen av natur lager feil og at taktplanlegging og -produksjon er svært sensitiv. I stedet for å fullføre aktiviteter fullstendig ble taktområder overlevert til neste fag med mangler. I stedet for å holde igjen produksjonen og avdekke rotårsakene til feilene og fjernet fortsatte arbeidet som førte til repetisjon av feilene. Til tross for dette, mener de at taktplanlagging og -produksjon gjorde byggeprosessen oversiktlig og håndterbar.

### **2.8.3 Forsinkende leveranser til byggeplassen**

Taktplanlegging og -produksjon har stort fokus på overleveringene mellom fagene, men tar ikke for seg den eksterne logistikken hvert fag er avhengige av for utføre arbeidet (Müge et al. 2019). Variabilitet i leveringstider av materialer eller ressurser til byggeplass skaper problemer for å opprettholde takten.

Arbulu et al. (2005) nevner at det tradisjonelt har vært et problem at aktører i byggeprosjekter oppfører seg som om de ikke kan styre leveringene inn til byggeplassen. Heinonen & Seppänen (2016) ser på logistikken av materialer inn i en taktproduksjon som kritisk for å opprettholde takten. JIT er et viktig prinsipp i LC og bør benyttes også i taktproduksjon for å sørge for at leveranser til byggeplassen kommer i rett tid så det ikke tar for mye lagringsplass eller stanser produksjonen.

På grunn av konsekvensene oppstrøms i produksjonslinjen ved forsinkelser i taktproduksjonen anbefales det å ha en viss materialbuffer. Vatne & Drevland (2016) forteller om et konkret eksempel der en forsinket leveranse av dører fra leverandøren som førte til venting for det neste faget. Deschamps et al. (2015) forklarer et eksempel hvordan arbeid blir startet på, på grunn av press fra ledere på byggeplassen, selv om faget mangler materialer for å fullføre arbeidet. Dette fører til *making-do*-arbeid som i tidligere underkapittel ble sett på som en kilde til en rekke følgefeil i produktet.

### **2.8.4 Manglende arbeidskraft**

Schöttle & Nesensohn (2019) diskuterer knapphet på arbeidskraft i form av arbeidere og entreprenører/underentreprenører i markedet som en trussel som alltid vil være til stede mot å opprettholde takten i produksjonen. Også ressurser innen prosjektering kan føre til forsinkelser i prosessen. Et godt eksempel på dette er sykdom. Hvis et fag som i vanlig produksjon stiller med en eller to arbeidere blir rammet av sykefravær kan det føre til stopp eller halvert arbeidshastighet.

### **2.8.5 Endringer fra kunde**

Endringer eller utsatte beslutninger fra kunden eller prosjekteier kan skape forsinkelser eller kreve at arbeid må gjøres om og dermed forstyrre taktplanen (Schöttle and Nesensohn 2019). Endringer i designet etter at taktplanen er lagt føre til forsinkelser. Kundeendringer kan komme etter at flere (eller alle) fag er ferdige i taktområdet og vil påføre merarbeid som krever ressurser og tid. Dersom de fagene som kommer bak i toget, etter kundeendringen er gjort, er avhengige av at andre fag for å utføre sitt arbeid kan det føre til forsinkelser. Det kan være vanskelig å hente arbeidere fra produksjonsfronten for å gjøre endringene fordi det kan forsinke takten der arbeiderene opprinnelig skal jobbe.

### **2.8.6 Manglende forpliktelse til taktplanen**

I utarbeidingen av taktplanen legges det vekt på å involvere de som har kunnskap om arbeidet som skal gjøres, ofte de som gjør arbeidet, den siste planleggeren (Frandsen et al. 2013). Dette gjøres for å øke realiserbarheten til planene, men også for å øke forpliktelsen til den endelige planen hos deltagerne.



Til tross viser det seg i praksis at forpliktelsen ikke alltid er like stor som forventet fra deltagere og ledere (Lehtovaara et al. 2020a). For å kontrollere og styre takten er det viktig med sosial kontakt mellom deltagerne og daglige møter mellom dem. Det viser seg at slike møter ofte blir neglisjert på byggeplass. Følgene av dette er unødvendig bevegelse mellom arbeidsstasjonene og økende variabilitet i arbeidet som er sett på som et resultat av arbeiderne ikke hadde nok kjennskap til produksjonssituasjonen på byggeplassen.



## **3 Metode**

I metodekapittelet presenteres forskningsdesignet som er brukt i denne oppgaven. Formålet med kapittelet er å gi leseren grunnlag for funn og konklusjoner i oppgaven, gi andre mulighet til å videreføre arbeidet og styrke oppgavens etterprøvbarehet. Først beskrives generelle begreper innen forskningsmetodikk før valget av metoder brukt i oppgaven blir gjort rede for. Deretter blir metodene beskrevet. Til slutt i kapittelet blir forskningsdesignet evaluert.

### **3.1 Generelt om metode**

En metode kan betegnes som en fremgangsmåte, et verktøy for å løse problemer eller fremskaffe kunnskap på (Andersen 2013). En forskningsbasert undersøkelse frembringer data og nødvendig informasjon gjennom bruk av metoder. Kvaliteten på dataene som samles inn vil i stor grad være påvirket av forskerens kunnskap om og bruk av metode til å samle inn data og analysere dataen i ettertid.

#### **3.1.1 Kvantitativ og kvalitativ metode**

Det skilles mellom kvantitativ og kvalitativ metode (Olsson 2011). Kvantitative forskningsmetoder tar utgangspunkt i tall og målbare størrelser, mens kvalitative er basert på muntlig eller nedskreven informasjon. Metodene kan brukes sammen for å tolke og forstå tallene i en måling. I denne oppgaven er det valgt å bruke en kvalitativ metode for å fremskaffe en helhetsforståelse av temaet som studeres.

#### **3.1.2 Validitet og reliabilitet**

Validitet betyr gyldighet og er i sammenheng med forskning et begrep for å karakterisere informasjonens godhet (Samset 2017). Det innebærer at det er samsvar mellom virkeligheten og tolkning, eller mellom funnet i forskningen og den problemstillingen en prøver å belyse. Olsson (2011) sier at et mål på validitet er i hvilken grad de innsamlede dataene representerer det en ønsker å måle.

Reliabilitet karakteriserer pålitelighet til informasjonen (Samset 2017). Informasjonens reliabilitet er etterprøvbare. Prøver under like forhold med like resultater indikerer god reliabilitet (Olsson 2011).

## **3.2 Metodevalg**

For å besvare problemstillingen i denne oppgaven er det valgt å bruke en case-studie på entreprenørkonsernet Consto. I begynnelsen av arbeidet med masteroppgaven ble oppgavens problemstilling utformet. I samråd med veileder Frode Drevland ble et relevant forskningsdesign valgt for å svare på problemstillingen. Mulighetene for kvantitativ data og spesifikke case-prosjekter ble diskutert, men valget falt på et kvalitativt forskningsdesign fordi det ville tjene problemstillingen best. Det ble valgt å gjennomføre case-studie på bedriften Consto bestående av intervjuer. I tillegg ble det gjennomført en begrenset dokumentanalyse og

et observasjonsstudie for å støtte funnene fra intervjuene. Masteroppgaven bygger videre på en fordypningsoppgave fra høsten 2020 på temaet takt og involvering av aktører i byggeprosjekter. I forbindelse med fordypningsoppgaven ble det gjennomført en litteraturstudie. Funnene fra litteraturstudien er videreført til denne masteroppgaven.

### **3.3 Litteraturstudie**

En litteraturstudie er en bibliotek- eller skrivebordsbasert metode som involverer sekundæranalyser av eksplisitt kunnskap (Jesson et al. 2011). Høsten 2020 ble det utført en litteraturstudie i forbindelse med temaet takt og involvering i byggeprosjekter – samme tema som for denne masteroppgaven. Formålet med litteraturstudien var å vise bevissthet om og tolke hva som er kjent og utforsket tidligere innenfor temaet.

Litteraturstudien ble gjennomført med en systematisk tilnærming anbefalt av Jesson et al. (2011). Studien har tatt utgangspunkt i Arksey & O'Malley (2005) følgende fem trinn for å strukturere litteratursøket:

1. Definere problemstilling og forskningsspørsmål
2. Identifisere relevante studier
3. Studere utvalget
4. Kartlegge dataen
5. Sortere, summere og rapportere resultatet

#### **3.3.1 Identifisere relevante studier**

For å identifisere relevante studier ble det i hovedsak brukt elektroniske databaser, bibliotek og anbefalt litteratur fra veileder Frode Drevland.

##### **Anbefalt litteratur fra veileder og snowballing**

Den anbefalte litteraturen fra veileder besto av doktorgradsavhandlinger, masteroppgaver og forelesninger. Doktorgradsavhandlingene og forelesningene har hatt som formål å øke den grunnleggende kompetansen innen prosjektbasert produksjonsteori for bruk i oppgaven. Masteroppgavenes referanseliste ble brukt for å finne relevante kilder på temaene LPS, taktplanlegging og -produksjon og produksjonsteori. Denne metoden er på engelsk kalt *snowballing* (Wohlin 2014). Relevante søkeord og -fraser fra den anbefalte litteraturen ble tatt med videre i litteratursøket.

##### **Elektroniske databaser**

Elektroniske databaser inneholder bibliografiske detaljer og abstrakter av publisert materiale (Arksey and O'Malley 2005). Hvilke databaser, søkeord og hvordan en styrer det elektroniske søket er utfordringer forskere må ta i betraktning. I denne oppgaven ble det brukt søkemotorene VIKO (u.å.) anbefaler presentert i Tabell 3, samt IGLC som ble anbefalt av veileder Frode Drevland.

**Tabell 3 – Søkjetjenester i litteratursøket.**

---

<b>Google Scholar</b>	Google Scholar søker i et bredt innhold av vitenskapelige artikler, bøker abstrakter, rettsoppfatninger mm. (Google Scholar n.d.). Søkjetjenesten har en funksjon som viser hvor mange ganger en kilde er sitert til. Denne funksjonen kan være med på å vurdere troverdigheten til kilden.
<b>Oria</b>	Oria er en database som inneholder det meste av NTNU universitetsbibliotekets bøker, artikler, tidsskrifter, musikk, filmer og elektroniske ressurser (VIKO n.d.).
<b>Scopus</b>	Scopus er en tverrfaglig referansedatabase som inneholder et stort antall artikler og konferanserapporter (VIKO n.d.). Erfaringen med søkjetjenesten er at den gir et mer innsnevret søk sammenlignet med Google Scholar, samtidig som det søkes i en større database enn Oria.
<b>IGLC</b>	The International Group for Lean Construction er et nettverk forskere fra praksis og akademia innen arkitektur-, bygg- og anleggsbransjen som etterstreber å fornye dagens praksis, undervisning og forskning i bransjen (IGLC n.d.). Søkjetjenesten inneholder konferanseartikler fra de årlige IGLC-konferansene tilbake til år 1996 frem til 2020.

---

## **Bibliotek**

Gjennom snowballing og funn i Oria-databasen ble Teknologibiblioteket ved NTNU brukt for å låne relevante bøker. Det ble gjort søk under kategoriene prosjektledelse, produksjonsledelse og logistikk for å finne relevante bøker.

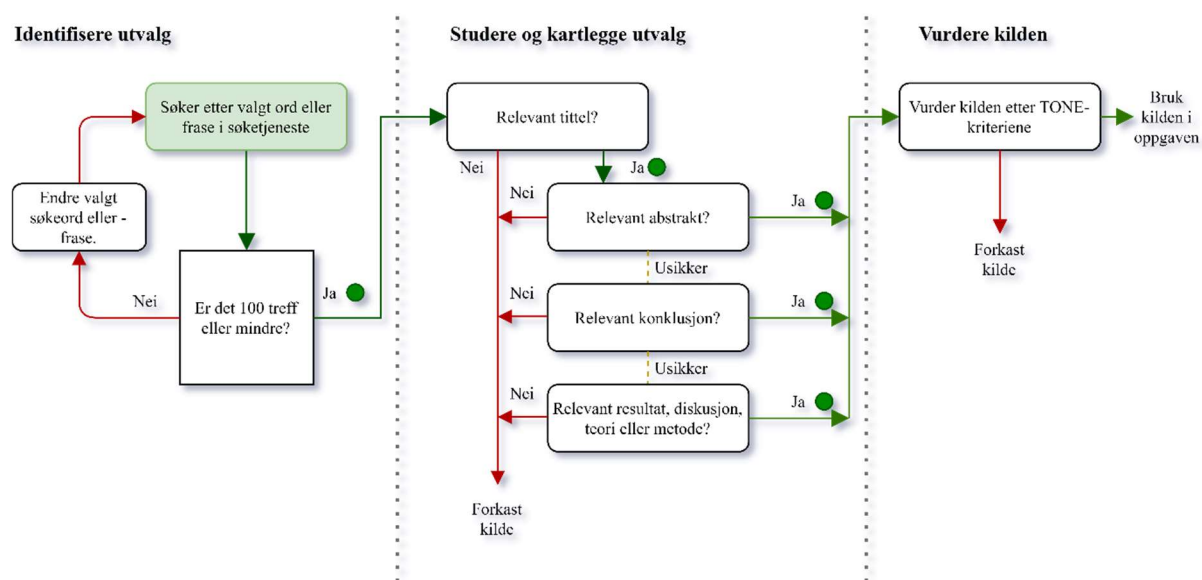
### **3.3.2 Studere, kartlegge og sortere utvalget**

Søkeord og -fraser for å finne relevante kilder ble valgt gjennom valg av tema, definerings av problemstilling og resultater underveis i litteratursøket. Alle søkeord ble valgt til å være engelske. Antall treff ved søk i de digitale søkjetjenestene nevnt tidligere presenteres i Tabell 2.

Tabell 4 – Søkematrise: Antall treff elektroniske databaser.

Søkeord	Google Scholar	Oria	Scopus	IGLC
«Takt»	289 000	21 087	573	65
«Takt Time Planning»	383	30	27	16
«Takt Control»	92	16	8	15
«Lean Thinking»	47 000	1 299	9 628	111
«Last Planner System»	4 810	373	511	202
«Last Planner System» + «Takt»	582	31	26	6
«Last Planner System» + «Takt Control»	37	2	1	1

Funnene fra søkene ble kategorisert etter antall treff. Søk med under 100 treff ble tatt med videre i litteratursøket, mens søkene med flere treff ble lagt til siden. Den videre gangen i utvelgelsen besto av å lese gjennom titlene i søkene med under 100 treff. Kildene med relevante titler ble tatt med videre i prosessen. Deretter ble relevansen vurdert gjennom å lese abstraktet, eventuelt deretter konklusjonen eller flere deler av teksten. Fremgangsmåten på denne elimineringsmetoden er visualisert i flytskjemaet presentert i Figur 9.



Figur 9 – Flytskjema som beskriver arbeidet med utvelgelsen av litteratur.

### 3.3.3 Studere, kartlegge og oppsummere resultatet

Listen med kilder som var igjen etter den tidligere beskrevne elimineringsmetoden ble deretter vurdert etter TONE-prinsippet anbefalt fra NTNU Bibliotek (2017). Prinsippet ber leseren vurdere kilden etter dens troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet ved å stille spørsmålene presentert i Tabell 5. Prosedyren ble valgt for å kvalitetssikre kildene. Etter prosedyren sto jeg igjen med 20 kilder fra den anbefalte litteraturen fra veileder, snowballing og søk elektroniske databaser og bibliotek.

Tabell 5 – TONE-prinsippet (NTNU Bibliotek 2017).

<b>Troverdighet</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hvem er ansvarlig for artikkelen?</li><li>• Hva er forfatterens utdanning og institusjonstilknøyning?</li><li>• Er kontaktinformasjon oppgitt?</li><li>• Hvor finner man artikkelen?</li></ul>
<b>Objektivitet</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hvordan er dataene i artikkelen presentert?</li><li>• Standard oppsett?</li><li>• Data i samsvar med tidligere forskning? Eller brudd?</li><li>• Er forfatterens hensikt å overtale eller informere leser?</li><li>• Er flere sider av saken belyst?</li></ul>
<b>Nøyaktighet</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Er forskningsmetodene godt forklart?</li><li>• Hvor nye og oppdaterte er dataene?</li><li>• Kan informasjonen bekreftes i minst to andre kilder?</li></ul>
<b>Egnethet</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hvor godt passer artikkelen til ditt behov?</li><li>• Er dataene relevante for oppgaven din?</li><li>• Kan det kaste et nytt lys over problemstillingene?</li><li>• Hvem er artikkelen skrevet for?</li></ul>

De 20 kildene ble så sortert etter hvilken type teori de var tilknyttet. For eksempel teori direkte knyttet til takt i byggeprosjekter, andre produksjonssystemer eller generell produksjonsteknikk. Deretter ble kildene lest og tatt notater fra for å identifisere de viktigste og mest relevante funnene i forhold til oppgavens tema og problemstilling. Til slutt ble kildene oppsummert i tekstform som danner en del av denne oppgaven teorikapittel.

### 3.3.4 Litteratur lagt til etter litteraturstudien

Litteraturstudien som er beskrevet tidligere ble gjort høsten 2020. Flere kilder er lagt til i ettertid for å styrke oppgaven. Det ble nødvendig å studere mer litteratur i starten av masteroppgaven våren 2021, for å utforske tidligere arbeid gjort i forbindelse med denne oppgavens tilspissede problemstilling sammenlignet med fordypningsoppgaven det tidligere beskrevne litteraturstudien ble gjennomført for. I tillegg ble det lagt til mer litteratur etter intervjuene og dokumentanalysen for å mine funnene opp mot tidligere studier. Alle kilder som er tatt med etter litteraturstudien er også vurdert som gode etter TONE-prinsippet.

### 3.4 Case-studie og case-bedriften

For å svare på oppgavens problemstilling ble det utført en case-studie på bygg og -anleggskonsernet Consto. Consto ble etablert i 2006 og er et av Norges ledende entreprenørkonsern innenfor bygg og anlegg, med til sammen over 1000 ansatte i Norge og Sverige. Konsernet er delt inn i to hovedkontorer i Norge. Et for byggevirksomhet og et for anleggsvirksomhet, henholdsvis Consto AS og Consto Anlegg AS (etablert i 2016). I tillegg etablerte Consto det svenske selskapet Consto AB i 2017. De to hovedkontorene i Norge har mellom seg 13 regionale driftsselskaper. Fem anleggsbedrifter og åtte byggbedrifter.

På grunn av oppgavens tema – takt og involvering av aktører i byggeprosjekter – ble det valgt å gjøre case-studien på byggevirksomhetssiden av Consto-konsernet. Consto har erfaring fra prosjektgjennomføring av prosjekttyper fra lagerhus, boligblokker til komplekse prosjekter som flyplass og sykehus. Selskapet brukte takt i prosjektgjennomføring for første gang i 2015 på A-fløya Universitetssykehuset Nord-Norge i Tromsø. Prosjektet var på omtrent 12000 kvadratmeter nybygg og 6000 kvadratmeter ombygging og ble utført som en totalentreprise med kontraktssum på rundt 700 MNOK (eks. mva). A-fløya ble ferdigstilt i 2018. Med kun to revisjoner av taktplanen, som omfattet hele prosjektet, på tre år ble bruken av takt ansett som svært vellykket. I forbindelse med dette prosjektet og senere prosjekter har Consto utviklet en arbeidsmetode for prosjektgjennomføring med navn *Involverende Bygging i Consto*.

Case-studien innebar intervjuer med sentrale roller i Consto med erfaring på bruk av takt og involvering av aktører i prosjektgjennomføring, en begrenset dokumentanalyse om *Involverende Bygging i Consto* og et observasjonsstudie på taktplanleggingsmøtene ved Nye Hammerfest sykehus.

#### 3.4.1 Intervju

I dette delkapittelet blir det forklart hva som var formålet med intervjuene som ble gjennomført i case-studien, hvordan informantene ble valgt og hvordan intervjuene ble gjennomført. Deretter presenteres måten data fra intervjuene ble analysert på.

##### 3.4.1.1 Formål med metoden

Formålet med intervjuene var å innhente informasjon på hvordan Consto gjennomførte byggeprosjekter med bruk av involvering av aktører og taktplanlegging og -produksjon.

##### 3.4.1.2 Valg av informanter og gjennomføring av intervjuer

For å velge relevante og aktuelle informanter for problemstillingen i oppgaven ble det forespurt om intervjuobjekter til en kontaktperson i Consto. Det ble bedt om informanter med erfaring på bruk av takt i byggeprosjekter. Kontaktpersonen i Consto sendte en liste med forslag på personer å kontakte. Listen inneholdt seks ansatte i Consto. Derav en prosjektsjef, tre prosjektledere, to anleggsledere og en driftsleder. Det ble tatt kontakt og avtalte individuelle intervjuer med samtlige på listen. I tillegg til de syv informantene på listen ble det tatt kontakt med og intervjuet en anleggsleder og en bas i Consto etter tips fra personene i intervjuene. De fleste informantene var ansatt i Consto Midt-Norge AS, mens to i Consto Nord AS, som vist i Tabell 6. Til sammen hadde informantene er erfaringer fra ti unike prosjekter der takt var brukt. Flere av informantene hadde erfaringer fra de samme prosjektene.



Tabell 6 – Informantenes roller og erfaringer

<b>Totalt antall informanter</b>	<b>8</b>
Prosjektsjefer	1
Prosjektledere	3
Anleggsledere	2
Driftsledere	1
Bas	1
Informanter fra Consto Midt-Norge AS	6
Informanter fra Consto Nord AS	2
<b>Totalt antall unike prosjekter med bruk av takt som informantene hadde erfaring fra</b>	<b>10</b>
Boligprosjekt (noen med næringsareal)	6
Skoleprosjekt	1
Flyplassprosjekt	1
Sykehusprosjekt	2 (der ett er pågående)

Tre av intervjuene ble gjennomført i fysisk møte med informanten i Trondheim, mens seks ble avholdt digitalt via Microsofts samhandlingsplattform Teams. Grunnen til at majoriteten av intervjuene ble holdt digitalt var av smitteforebyggende hensyn og reiserestriksjoner i forbindelse med Covid-19. I de digitale møtene ble det brukt webkamera fra begge parter for å oppnå visuell kontakt. Før intervjuene var det spenning rundt om kvalitetsforskjellen mellom de fysiske og digitale intervjuene ville være betraktelig. I ettertid er begge formene for intervju evaluert til å ha gitt ønsket resultat og kvalitet. Varigheten på intervjuene varierte mellom 45 minutter og to timer der de fleste varte omtrent en time.

I forkant av intervjuene ble det designet en intervjuguide for å forsikre om at intervjuet ga informasjon knyttet til problemstillingen i oppgaven. Intervjuguden ble lagd med bakgrunn fra funn fra litteraturstudien og fordypningsoppgaven fra høstsemesteret i 2020 og er lagt til denne oppgaven som vedlegg, se Vedlegg A. I flere tilfeller ble det latt være å stille enkelte spørsmål fordi intervjueren fikk inntrykk fra samtalen at informanten ikke hadde erfaringer til å svare på dem. For eksempel ble det spurt ikke om detaljkunnskap rundt hvordan avvik blir avdekket i taktproduksjonen til en av prosjektlederne. Dette var fordi intervjueren fikk inntrykk fra tidligere i samtalen at personen ikke hadde erfaringene med den daglige driften av byggeplassen i taktproduksjon, men et mer langsiktig perspektiv.

På den andre siden spurte intervjueren spørsmål som ikke kom direkte fra intervjuguiden. Enten om temaer og emner som informanten innledet eller for å sjekke ut tidligere funn fra de andre intervjuene. Intervjuene ble gjennomført som semistrukturerte og fulgte ikke spørsmålene fra intervjuguiden kronologisk. Intervjueren lot informanten styre samtalen og brukte

intervjuguiden som en retningslinje og avkrysningsliste. Denne metoden ga samtalen i intervjuene god flyt, samtidig som den forsikret at alle spørsmål som var ønsket å stille ble spurt eller ble omtalt av informanten i forbindelse med andre spørsmål. Dette ga også informantene muligheten til å prate om det de anslo som viktig med tanke på problemstillingen. Noe som beriket informasjonen fra intervjuene.

### 3.4.1.3 Analyse av intervjuene

For å analysere informasjonen fra intervjuene ble alle intervjuene transkribert og det ble utført en tematisk-koding (*thematic coding approach*) på dataen i tråd med Robson and McCartan (2016). Oppsummert går denne metoden ut på:

- Å gjøre seg kjent og skaffe seg oversikt over den innsamlede dataen
- Markere samtlige data som kan være relevant for oppgavens problemstilling med koder/stikkord basert på innholdet. Kodene kan være forhåndsbestemt basert på tidligere studier, vokse frem av dataen eller en blanding av disse.
- Kodene sorteres og grupperes i overordnede temaer
- Den innsamlede dataen i temaene som er relevant til problemstillingen oppsummeres

Intervjueren – det vil si forfatteren av denne oppgaven – hadde god oversikt over og kjennskap til den innsamlede dataen etter selv å ha gjennomført alle intervjuene og transkribert dem. Før den tematiske kodingen av de transkriberte intervjuene ble det laget åtte koder/stikkord basert på inntrykk fra intervjugjennomføringen, transkriberingen og litteraturstudien. Det ble tidlig behov for flere koder/stikkord for å dekke innholdet i intervjuene. Flere av stikkordene som ble brukt var ikke direkte relevante for problemstillingen, men ble markert likevel for å ha muligheten til å effektivt finne tilbake til innholdet i teksten dersom andre funn kunne putte dette innholdet i et nytt perspektiv. 36 koder/stikkord ble utformet i løpet av intervjuene for å beskrive innholdet i intervjuene. Til sammen med de forhåndsbestemte, ble totalt 44 koder/stikkord brukt, som vist i

Tabell 7. Etersom kodene/stikkordene ble utformet i løpet av gjennomgangen av intervjuene, var det nødvendig å gå tilbake til tidligere analyserte intervju for å sjekke om de senere utformede kodene/stikkordene kunne relatere til innholdet.

**Tabell 7 – Koder/stikkord brukt på transkribert data fra intervjuene. Koder som var forhåndsbestemt er merket med (Forhånd).**

Nr.	Koder/Stikkord	Nr.	Koder/Stikkord
1	Lappeplanlegging (Forhånd)	23	Kvalitetssikring
2	Kontrollmøter (Forhånd)	24	Kontrakt
3	Tog (Forhånd)	25	Oppfølging
4	Taktplanlegging (Forhånd)	26	Forpliktelse
5	Dårlig involvering (Forhånd)	27	Kundeendringer
6	Visualisering (Forhånd)	28	Måle status / utsjekk
7	Soneinndeling (Forhånd)	29	Tiltak for fremdrift
8	Involvering (Forhånd)	30	Engasjement
9	Ledelse	31	Fremdriftsdrivende fag
10	Tidspress	32	Alt må inn i planen
11	Forankring / eierskap	33	Glemme områder
12	Konflikt	34	Forutsetninger
13	Sykdom	35	Bemanning
14	Dominoeffekten	36	Avhengigheter
15	Resultat	37	Feilestimering
16	Leveranser	38	Skader på produktet
17	Ryddighet	39	Daily Huddle
18	Kommunikasjon	40	Vær og vind
19	Feilproduksjon	41	Riktige folk
20	Logistikk	42	Feil bruk av takt?
21	Rigg / riggplan	43	Intern involvering
22	Forståelse	44	Uforutsette hendelser

Etter at alle intervjuene var kodet, ble kodene/stikkordene kategorisert i overordnede temaer. Byggingen av temaer ble en iterativ prosess fordi det var en utfordring å skille kodene/stikkordene i logiske kategorier, da flere av dem passet til flere temaer. Løsningen ble å bruke kodene/stikkordene i flere temaer, samtidig som temaene ble endret i ordlyd og innhold. I Tabell 8 presenteres de endelige temaene. For å knytte temaene til oppgavens problemstilling er de kategorisert i tre hovedkategorier: *Årsaker til forsinkelser i taktproduksjon*, *Forhindre forsinkelser i taktproduksjon* og *Minimere konsekvensene av forsinkelser*. Det er kun koden/stikkordet Ledelse som ikke ble tatt med til utformingen av temaene. Grunnen til dette var at Ledelse ble vurdert som overflødig sammen med de andre kodene/stikkordene. Flere koder/stikkord kunne vært eliminert her fordi andre de andre koder/stikkord hadde dekning for

det samme innholdet. Det ble derimot vurdert til at det var hensiktsmessig å jobbe videre med kodene/stikkordene slik de var satt fordi fokuset videre i analysen ville være temaene.

**Tabell 8 – Utforming av temaer fra koder/stikkord**

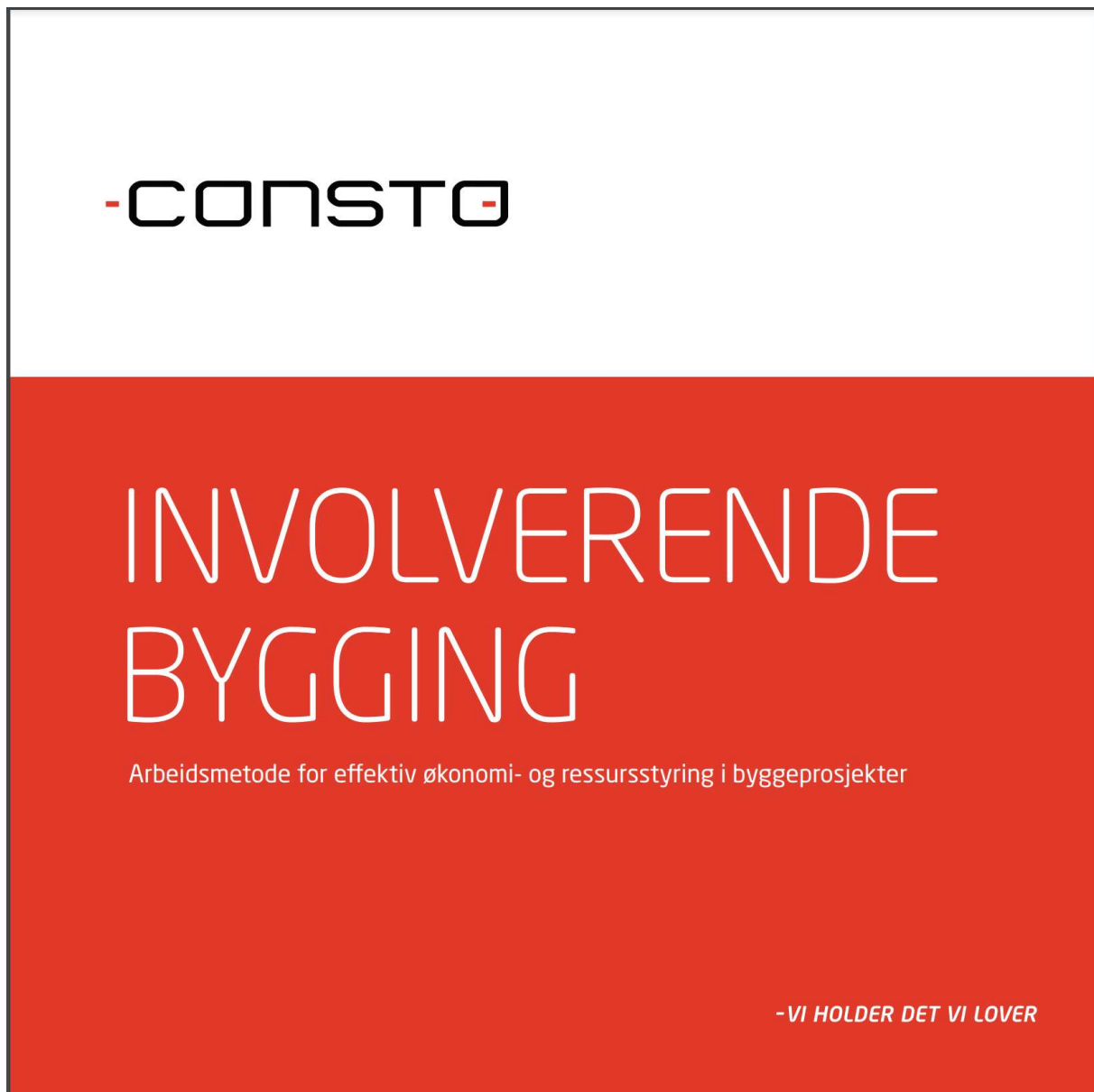
Årsaker til forsinkelser i taktproduksjonen	Forsinkede leveranser	Intern involvering	Oppfølging	Leveranser																	
		Vær og vind	Uforutsette hendelser																		
	Logistikkforstyrrelser	Intern involvering	Oppfølging	Logistikk																	
		Rigg / riggplan	Ryddighet																		
	Feilproduksjon	Feilproduksjon																			
Skader på grunn av retting og paraden av forsinkelser		Dominoeffekten	Skader på produktet																		
		Avhengigheter	Kundeendringer																		
Feilestimering av arbeid		Riktige folk	Fremdriftsdrivende fag																		
		Glemme områder	Feilestimering																		
Forhindre årsaker til forsinkelser i taktproduksjonen	Mangel på tilgjengelig arbeidskraft	Sykdom																			
		Bemanning																			
	Manglende forpliktelse, kommunikasjon og nøkkelroller	Forankring / eierskap	Forståelse	Forpliktelse	Engasjement	Riktige folk															
		Intern involvering	Visualisering	Konflikt	Kommunikasjon																
	Ukentlige møter	Kontrollmøter	Intern involvering	Forpliktelse	Engasjement	Involvering															
		Oppfølging	Måle status / utsjekk	Tiltak for fremdrift	Fremdriftsdrivende fag																
	Daily Huddle	Daily Huddels	Kontrollmøter	Intern involvering	Forpliktelse	Engasjement															
		Involvering	Oppfølging	Måle status / utsjekk	Tiltak for fremdrift																
	Kvalitetssikring	Kvalitetssikring																			
		Måle status / utsjekk																			
Planleggingsfasen	Forankring / eierskap	Resultat	Kontrakt	Involvering	Riktige folk	Intern involvering	Lappeplanlegging	Tog	Taktplanlegging												
	Forståelse	Forpliktelse	Engasjement	Kommunikasjon	Fremdriftsdrivende fag	Tidspress	Alt må inn i planen	Soneinndeling	Visualisering												
Minimere konsekvensene av forsinkelser	Tiltak for fremdrift																				
	Avhengigheter																				

I den siste delen av analysen ved bruk av tematisk-koding ble hvert tema oppsummert i tekstform, som presenteres i denne oppgavens resultatkapittel. For å komme fram til resultatet ble transkribert tekst knyttet til et tema samlet og sortert etter hvilke informanter som hadde

sagt utsagnene. For eksempel for temaet *Forsinkede leveranser* ble all tekst markert med kodene/stikkordene *Intern involvering*, *Oppfølging*, *Leveranser*, *Vær og vind*, og *Uforutsette hendelser* samlet i et dokument. Deretter ble temaene oppsummerte for hver enkelt informant i stikkordsform. Alle stikkordene ble så samlet for å danne et oversiktlig bilde av temaet på tvers av informantene. På denne måten kom det fram hvilke funn det var enighet om, motstridende funn og hvilke som var enkeltfunn innenfor hvert tema. Deretter ble teksten som finnes i denne oppgavens resultatdel produsert.

### 3.4.2 Begrenset dokumentanalyse

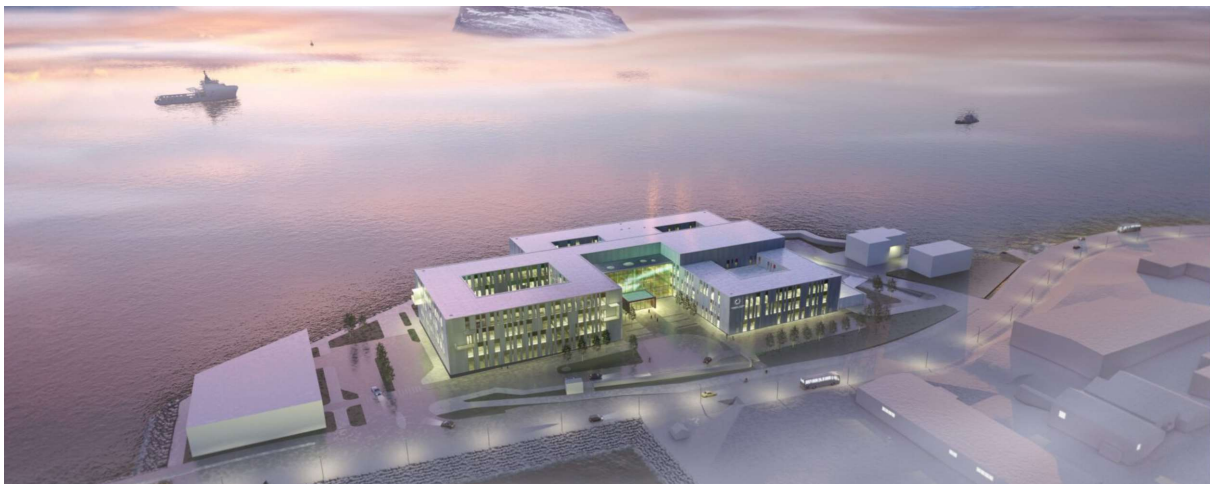
Det er gjennomført en begrenset dokumentanalyse av Constos brosjyre *Involverende Bygging i Consto*. Brosjyren gir en beskrivelse av arbeidsmetoden Consto bruker i gjennomføringsfasen av byggeprosjekter og kan studeres i Vedlegg B. Formålet med dokumentanalysen var å skaffe innsikt på hvordan byggeprosjekter blir gjennomført ved bruk av involvering av aktørene og taktplanlegging- og produksjon i Consto i forkant av intervjuene. For å analysere dokumentet ble brosjyrens innhold studert, og interessant informasjon ble tatt notater av. I etterkant av et intervju, etter å ha diskutert *Involverende Bygging i Consto* med informanten, ble et internt støttedokument tilsendt for å oppklare detaljer rundt prosjektgjennomføringen og arbeidsmetoden som var beskrevet i brosjyren. Støttedokumentet ble analysert ved å studere innholdet og notere ned viktig informasjon.



Figur 10 – Forsiden av *Involverende Bygging i Consto*

### 3.4.3 Observasjonsstudie

I et av intervjuene, fikk intervjueren tilbud om å observere taktplanleggingsmøtene for taktproduksjonen på innredningsarbeidet på Nye Hammerfest Sykehus. Formålet med observasjonsstudien var å innhente informasjon på hvordan Consto gjennomfører taktplanleggingen i praksis. Nye Hammerfest Sykehus er et komplekst byggeprosjekt som omfatter omtrent 33000 kvadratmeter nybygg. Prosjektet gjennomføres av Consto Nord som en totalentreprise for byggherre Finnmarkssykehuset med kontraktssum på 1400 MNOK (eks. mva). Byggingen startet i 2020 og planlagt ferdigstillelse er år 2025.



**Figur 11 – Modell av Nye Hammerfest Sykehus (Consto AS n.d.)**

Observasjonsstudien ble gjennomført ved at forfatteren av denne oppgaven deltok i de ukentlige taktplanleggingsmøtene mellom alle kontraherte aktører til innredningsfasen i prosjektet og Constos representanter i prosjektet. Interessant informasjon og observasjoner ble notert ned i løpet av møtene. Til slutt ble observasjonene oppsummert i tekstform presentert i denne oppgavens resultatdel. Møtene varte i 4 timer, sett bort fra ett tilfelle, og ble arrangert over den digitale plattformen Microsoft Teams. Jeg deltok i ni av 13 møter i møteserien. I to tilfeller kunne jeg ikke møte, mens de siste tre møtene ble gjennomført etter at denne oppgaven var ferdigskrevet.



**Tabell 9 - Detaljer om observasjonsstudien på Nye Hammerfest Sykehus**

Antall taktplanleggingsmøter totalt	13
Antall observerte taktplanleggingsmøter i denne oppgaven	11
Møteform	Digitalt via Microsofts Teams og miro.com
Fag som deltok	
Varighet på møter	4 timer (et møte varte kun én time)
Hypighet på møteserien	Ukentlig
Møteleder (arrangør)	Anleggsleder for innvendig arbeid for prosjektet (Consto Nord AS)

### **3.5 Evaluering av forskningsdesign**

Forskningsdesignet i denne oppgaven er basert på en case-studie på byggentreprenøren Consto for å svare på hvordan forsinkelser i taktproduksjon kan forhindres og håndteres. Det er benyttet kvalitative metoder for å utforske problemstillingen. Den største kilden til informasjonsinnhenting har vært intervju med nøkkelroller fra Consto.

Intervjuene som er gjort i denne studien har vært nyttige for å innhente informasjon direkte knyttet til problemstillingen. Metoden belaget seg på å intervju nøkkelroller i forbindelse med taktproduksjon i byggeprosjekter. Dette gjorde utvelgelsen av informanter til en svært viktig prosess for å sikre studiens validitet. Ved at en representant fra Consto foreslo mulige informanter med erfaringer innenfor oppgavens tema, og alle disse ble intervjuet, ble relevansen til informantene ivaretatt. Dersom disse informantene ikke hadde vært egnet til å svare på oppgaven, ville det vært mulig og gjort en ny runde med intervjuer på nye informanter. Det ble derimot ikke gjort på grunn av gode resultater fra intervjuene, men flere informanter ble intervjuet etter den første runden for å øke studiens reliabilitet.

Utvalget av informanter er relativt lavt, og det er derfor knyttet usikkerhet rundt funnene i studien. Dette gjør det vanskelig å vurdere metodens reliabilitet. På den andre siden, ble få eller ingen nye funn på forskningsspørsmålene hentet inn i intervjuene som ble gjort på senere tidspunkt i prosessen. Dette kan tyde på at utvalget av informanter var tilstrekkelig for denne oppgaven. En annen utfordring knyttet til intervjuene, er at kun to regionale bedrifter – det vil si Consto Midt-Norge og Consto Nord – er representert. Man kan derfor stille spørsmål til om funnene er gjeldene for hele Consto og viktigere om de gjelder for den norske byggebransjen, med andre ord den eksterne validiteten til studien. Med andre ord, det er vanskelig å bedømme om funnene fra den ene case-bedriften er relevante for byggebransjen i Norge. Det positive med valget av case-bedrift er at konsernet er det eneste som driver byggentreprenørvirksomhet over hele landet og kan derfor sies å være en egnet representant. Denne case-studien vil likevel kunne bli styrket i en portefølje av flere case-studier fra forskjellige byggentreprenører i Norge med erfaring i bruk av taktproduksjon.

I gjennomføringen av intervju, er det ifølge Yin (2014) en utfordring at resultatet kan preges av skjevhet. Det vil si at resultatene fra informantene kan farges av intervjuerens vinkling av spørsmål eller oppfatning av svar, og /eller at informanten svarer partisk. I denne studien opplevde intervjueren å være preget av tidligere funn fra intervjuer, og ble mer søkende i intervjuene mot slutten av intervjuprosessen for å få bekreftelse på disse funnene. Designet av intervjuguiden ble en redning for å sikre at informantene fikk snakke fritt og upartisk. Ved å gjennomføre intervjuene semi-strukturerte lot intervjueren informanten først redegjøre for sine erfaringer og kunnskap på oppgavens tema før spørsmål rettet direkte mot oppgavens forskningsspørsmål ble spurt. Etter at informanten hadde kommet med sine svar på dette, ble intervjueren mer søkende for å få bekreftet eller avkreftet tidligere funn. Denne måten å gjennomføre intervjuet på sørget for å innhente informantens egne synspunkter på tema og forskningsspørsmålene, samtidig som intervjueren fikk datagrunnlag for å gjøre sammenligninger mellom intervjuene. I tillegg ble informantene informert om intervjuerens taushetsplikt og lovet anonymitet for å sikre seg mot partiske og begrensede svar. Dette var spesielt viktig for å få gode svar på forskningsspørsmålet om hva som forårsaker forsinkelser i taktproduksjon, da det kan være ubehagelig for informanten å legge skyld på egen bedrift eller andre aktører.

Det er i tillegg til intervjuene er det brukt en begrenset dokumentanalyse for å skaffe innsikt på hvordan byggeprosjekter blir gjennomført ved bruk av involvering av aktører og taktplanlegging- og produksjon i case-bedriften. Den begrensede dokumentanalysen ga innsikt i hvilke verktøy bedriften ønsket å bruke i utførelsesfasen for å forhindre forsinkelser i taktproduksjonen. Metoden var også svært nyttig i sammenheng med funn fra intervjuene for å skaffe dypere forståelse på hvordan forsinkelser i taktproduksjon kan bli forhindret av en grundig planleggingsprosess. I observasjonsstudien ble det også mulig å se planleggingsprosessen i praksis. Observasjonsstudien hadde en begrensning i at denne oppgavens begrensede tidsperspektiv ikke gjorde det mulig å si noe om resultatet av planleggingsprosessen. Til tross for denne begrensningen, ga observasjonsstudien mer spesifikk informasjon om hva som bør gjøres i taktplanleggingsfasen for å forhindre forsinkelser i senere produksjon enn det som kom fram i intervjuene alene.

Forskningsdesignet som er brukt i denne studien vurderes til å tjene oppgaven godt fordi den kvalitative metoden med bruk av intervjuer henvender seg direkte til forskningsspørsmålene.

### **3.6 Konferanseartikkel: International Group for Lean Construction**

I forbindelse med funnene fra case-studien ble det skrevet en konferanseartikkel til konferansen International Group for Lean Construction (IGLC) i samarbeid med veileder Frode Drevland. Konferanseartikkelen med navn *Preventing the Parade of Delays in Takt Production* finnes i Vedlegg C. Drevland bidro med å tilegne oppgaven et akademisk språk og en logisk oppbygging, mens funnene og drøftingen ble videreført fra arbeidet med denne masteroppgaven. Konferansen aksepterte artikkelen.

## 4 Resultater

I oppgavens resultatkapittel blir funnene fra intervjuene, dokumentanalysen og observasjonsanalysen framstilt. Kapittelet er tredelt. Første del presenterer årsaker til forsinkelse i taktproduksjon. I andre del belyses funnene på hvordan det arbeides for å forhindre disse forsinkelsene i produksjons- og planleggingsfase. Mens i den siste delen blir det lagt fram funn på tiltak for å minimere forsinkelsene dersom de allerede har skjedd.

### 4.1 Årsaker til forsinkelser i taktproduksjon

I dette delkapittelet presenteres funn – hovedsakelig fra intervjuene dersom ingenting annet er spesifisert i teksten – på hva som forårsaker forsinkelser i taktproduksjonen. Tabell 10 oppsummerer funnene.

Tabell 10 – Svar på forskningsspørsmål 1: Hva forårsaker forsinkelser i taktproduksjon?

Årsak	Beskrivelse
<b>Forsinkede leveranser</b>	Logistikken inn til byggeplass er ofte en årsak til at forsinkelser oppstår i taktproduksjonen. Forsinkede leveranser kan skyldes uforutsette hendelser som ulykker, dårlig vær eller til og med en pandemi, men ofte skjer forsinkelsene på grunn av at leveransene ikke blir bestilt i tide.
<b>Logistikkforstyrrelser</b>	Logistikken på byggeplassen er avgjørende for å opprettholde arbeidsflyten. Forstyrrelser i eller treg logistikk fører til forsinkelser i taktproduksjonen. God logistikk er spesielt viktig i de delene av bygget som er både et taktområde og en transportsone. Det er en stor utfordring ivareta disse områdene med tanke på å opprettholde den nødvendige transporten for å produsere på andre steder, samtidig som det sikres fremdrift i taktområdet
<b>Feilproduksjon</b>	Feilproduksjon forsinket taktproduksjonen og kan være at ting blir bygget med feil dimensjoner, feil materialer, feil omfang og så videre. Årsaker til at dette skjer kan være feil, manglende eller misvisende produksjonsunderlag eller at håndverkeren som skal utføre arbeidet ikke får nødvendig informasjon fra rådgiverens tegning.
<b>Feilestimering av arbeid</b>	Feilestimering av arbeid i taktplanleggingen er en årsak til forsinkelser i takten. Underestimering av arbeidsomfang og -mengde i taktområder har ført til at fag ikke blir ferdige i tide.

---

<b>Mangel på tilgjengelig arbeidskraft</b>	En underliggende årsak til forsinkelser i taktproduksjonen er mangel på arbeidskraft. Mangelen kan skyldes sykdom. I tillegg er det å erstatte manglende arbeidskraft en utfordring i taktproduksjon.
<b>Manglende forpliktelse, kommunikasjon og nøkkelroller</b>	En årsak til forsinkelser i takten er manglende forpliktelse, engasjement og kommunikasjon hos fagene i taktproduksjonen. Utskifting av nøkkelroller etter taktplanleggingsprosessen er en rotårsak til disse manglene.
<b>Skader på grunn av retting</b>	Taktproduksjonen forsinkes av skader som blir påført det ferdige produktet i prosessen med å rette feilproduksjon eller tidligere skader. Ofte fører retting av én feil til at en lager flere andre feil og dermed lager en dominoeffekt av feil.
<b>Forsinkelsesparaden</b>	Dersom en forsinkelse oppstår i taktproduksjonen – uansett årsak – er sannsynligheten stor for flere forsinkelser senere i taktproduksjonen på grunn av de tette koblingene mellom taktvognene. Dette medfører en parade av forsinkelser i taktproduksjonen.

---

#### 4.1.1 Forsinkede leveranser

En av de største utfordringene for å opprettholde takten som ble avdekket i intervjuene, er logistikken inn til byggeplassen. Alle informantene fortalte at forsinkede leveranser som materialer, utstyr eller maskiner hadde vært med på å skape forsinkelser i taktplanen og i enkelte tilfeller ført til at hele taktplanen måtte revideres. Manglende leveranser førte til at fagene ikke klarte å bli ferdig med arbeidet sitt i taktområdet før overlevering til neste fag, som igjen førte til at de følgende fagene ikke kunne starte på deres arbeid.

Informantene oppga at forsinkede leveranser kan skyldes uforutsette hendelser som ulykker, dårlig vær eller til og med en pandemi, men ofte skjer forsinkelsene på grunn av at leveransene ikke blir bestilt i tide. Grunnen til at bestillinger blir lagt inn for seint skyldtes i mange tilfeller at fagene holdte igjen bestillinger for å ha *muligheten* til å legge til flere varer på samme bestilling for å spare fraktkostnader. Tendensen er at bestillinger ikke legges inn når de *kan* legges inn, men når de *må* legges inn. Det kommer frem av intervjuene at det ofte gjøres feil i vurderingen om når siste frist for bestilling er.

I andre tilfeller nevnte informantene at nødvendige leveranser rett og slett var blitt oversett eller glemt. Dette kunne skyldes manglende oversikt over hva som skal produseres, feilestimering eller kommunikasjonssvikt. Til og med mindre leveranser av forbruksvarer som festemidler kan være en årsak til forsinkelser dersom de som bruker disse ikke har et effektivt system for å sikre nødvendige forbruksvarer til enhver tid.

#### 4.1.2 Logistikkforstyrrelser

På den andre siden ble leveranser som kommer for tidlig til byggeplassen også nevnt av informantene som en årsak til forsinkelser i takt. Varer som tar opp plass i taktområder hindrer

fremdrift, mens dersom de lagres i transportområder forsinkes de logistikken på byggeplassen. Forflytting av varene på byggeplassen er ressurskrevende og krever bemanning, tid og ikke minst planlegging. På en trang byggeplass er det naturlig at varer som for eksempel materialer kommer i flere omganger for å hindre at de tar plass. På relativt romslige byggeplasser med plass til lagring viser det seg også at forflytting av materialer tar opp unødvendig mye tid og ressurser hvis materialer lagres langt fra der de skal monteres. Logistikken på byggeplassen er med andre ord avgjørende for å opprettholde takten.

I gjennomføringen av takt skal hvert taktområde ryddes for materialer og utstyr før det overleveres til neste fag etter takttiden er ute. Dette medfører at fagene forflytter seg med materialer og utstyr samtidig etter endt takttid. Jo mindre takttid, jo flere forflytninger og strengere krav til logistikkplanlegging i prosjektet. Ineffektive forflytninger bruker av produksjonstiden til hvert fag, men skaper også forstyrrelser for andre fag. Det er derfor svært viktig å planlegge for hvordan disse forflytningene og logistikken rundt de skal gjennomføres.

Intervjuene avslørte at logistikkplanleggingen er spesielt viktig i de delene av bygget som er både et taktområde og en transportsone. Det er en stor utfordring ivareta disse områdene med tanke på å opprettholde den nødvendige transporten for å produsere på andre steder, samtidig som det sikres fremdrift i taktområdet. For eksempel er en trappeoppgang eller en korridor nødvendige transportområder for å forsyne andre taktområder. Samtidig er det viktig å sikre fremdrift for å ferdigstille disse områdene i tide. For det første medfører arbeid i disse kombinerte takt- og transportområdene stopp i forsyningene til taktområdene som er avhengige av transportområdet og kan skape forsinkelser direkte. Den andre utfordringen er at disse områdene er mer belastet når det brukes som et transportområde og faren for skader på ferdigmonterte og -produserte produkter er høyere her enn i soner som kun sees på som taktområder.

### **4.1.3 Feilproduksjon**

Flere av informantene pekte på feilproduksjon som en utfordring for å opprettholde takten. Feilproduksjon kan være at ting blir bygget med feil dimensjoner, feil materialer, feil omfang og så videre. For eksempel at en stikkontakt blir montert på feil sted eller at en vegg blir satt opp med feil tykkelse. Dersom det oppstår feil vil det forstyrre fremdriften og stoppe produksjonen for de følgende fagene i takten fordi arbeidet deres forutsetter at det er produsert riktig fra fagene før. I tillegg kreves det ressurser og tid for å rette opp feilene. Dersom en vegg er plassert feil kreves det tid og ressurser først til å rive vegg og så til å sette opp en vegg riktig. Det vil også kunne bli ekstra arbeid for å rette skader produksjonen av den gamle vegg har påført andre materialer. Det vil si at å produsere feil ikke bare lager dobbelt så mye arbeid enn det som er planlagt, men mer enn det. Ved store feil vil det også kunne forstyrre leveranseplanen fordi det blir et dobbelt forbruk av materialer.

Flere årsaker til at det produseres feil kom fram av intervjuene. En årsak som flere av informantene dro frem som avgjørende var feil, mangler eller misvisende produksjonsunderlag. Det kan for eksempel være at en del av arbeidet ikke er prosjektert og at det lages eller monteres på stedet for å sikre fremdrift. Faren ved å velge en slik løsning er at ikke alle konsekvenser for løsningen blir tenkt igjennom og man kan bli nødt til å rette dette på et senere tidspunkt når feilen blir synlig.

En annen årsak som ble belyst var at detaljene er prosjektert, men håndverkeren som skal utføre arbeidet ikke får nødvendig informasjon fra rådgiverens tegning. Det kan være utelatt mål og avstander, eller informasjon om materialdetaljer fra tegningen fordi de prosjekterende vet at disse detaljene er dokumentert i andre dokumenter, planer eller BIM-modellen. Den som utfører jobben, forventer at det som er viktig er tatt med og gjør egne antagelser for å utfylle detaljene i prosjekteringen. Som et eksempel kan brannklassene til materialer bli utelatt fra tegningene, men er å finne i brannrapporten. Det viser seg at håndverkeren i mange tilfeller kun benytter seg av informasjonen på tegningen og derfor overser detaljer som finnes i andre dokumenter. En annen grunn til at det oppstår feil på grunn av produksjonsunderlaget er fordi håndverkeren jobber etter en foreldet revisjon av tegningene.

#### **4.1.4 Feilestimering av arbeid**

Flere informanter nevnte feilestimering i taktplanleggingen som en årsak til forsinkelser i takten. Underestimering av arbeidsomfang og -mengde i taktområder har ført til at fag ikke blir ferdige i tide. Feilestimeringen skyldes at fagene eller prosjektledelsen ikke har oversikt over detaljene i produksjonsunderlaget. For eksempel er todimensjonale plantegninger det typiske underlaget for taktplanlegging. Variasjoner som romhøyde er derfor lett å glemme i planleggingsfasen og fører til at ekstra tid, materialer og utstyr – som nødvendig heise- og løfteutstyr – ikke blir tatt hensyn til. Om dette ikke blir gjort tiltak for tidlig nok fører det til forsinkelse i takten.

Ifølge en informant var overestimering av indre effektivitet – produktiviteten – hos fagene en årsak til forsinkelse i taktplanen. Men det kan ikke sies å være et vanlig problem da de fleste informantene mente at tendensen var at produktiviteten var høyere enn estimert med bruk av takt.

#### **4.1.5 Mangel på tilgjengelig arbeidskraft**

Intervjuene avslørte at en årsak til forsinkelse i takten er mangel på arbeidskraft. En grunn til underbemanning er sykdom. Spesielt for små fag – for eksempel en vogn med to arbeidere – har sykdom som medfører at faget mister en arbeider kritisk innvirkning på produksjonen. Å erstatte arbeidere på kort varsel er krevende på grunn av den store etterspørselen på ledig arbeidskraft i den norske byggeindustrien. I tillegg vil det ofte være utfordrende å holde oppe produksjonen ved bruk av erstatte fordi arbeidslaget ofte avhenger av erfaringene fra det repeterende arbeidet i takten. Dette medfører at et fag trenger to innleide arbeidere for å erstatte en arbeider i taktproduksjonen – ikke fordi de innleide arbeiderne ikke er kvalifiserte, men fordi de ikke er drillet like mye i arbeidet i takten.

#### **4.1.6 Manglende forpliktelse, kommunikasjon og nøkkelroller**

En underliggende årsak til forsinkelser i takten er manglende forpliktelse og engasjement til taktplanen hos fagene. Intervjuene avslørte at forsinkelser har oppstått fordi håndverkerne på byggeplassen ikke kjenner seg igjen i planene som er lagt og dermed ikke føler seg forpliktet til dem. Dette skyldes i noen tilfeller at det ikke er involvert de riktige folkene i planleggingsprosessen. For eksempel hvis kun prosjektleder er representert for et fag i taktplanleggingen, er det kritisk at personen har innsikt og forståelse for hvordan arbeidet utføres på byggeplassen for å forsikre påliteligheten i metodene og produktivitet som det planlegges for. Informantene påpekte at det som oftest er basen som sitter på nødvendig innsikt

i produksjonen og bør involveres i planleggingsprosessen. Ved å involvere en nøkkelrolle som basen i taktplanleggingen mente flere informanter at det er lettere å skape eierskap til prosjektet hos håndverkerne. Eierskapsfølelse og forståelse av taktprinsippene er avgjørende for å opprettholde takten gjennom prosjektet. Flere informanter nevnte den interne involveringen eller kommunikasjonen hos fagene som avgjørende for å forplante forpliktelsen og engasjement ut til alle ledd i produksjonen.

I intervjuene kom det fram at en stor utfordring for å forsikre seg eierskapsfølelse og forpliktelse hos de som utfører arbeidet i produksjonen, er at personer i nøkkelroller som prosjektleder og bas blir byttet ut mellom planleggingsfasen og produksjonen – eller underveis i produksjonen. En informant fortalte om et tilfelle der et fag byttet prosjektleder tre ganger i et byggeprosjekt. Resultatet var at eierskap, forpliktelse, arbeidsmetoder og kommunikasjon som ble forankret i planleggingsprosessen ikke blir videreformidlet til de nye aktørene i nøkkelrollene og derfor forsvinner ut av prosjektet. Forankringen av disse elementene i planleggingsfasen er essensielt for taktproduksjonen og veldig vanskelig å videreformidle i ettertid av taktplanleggingsprosessen.

#### **4.1.7 Skader på grunn av retting og forsinkelsesparaden**

Et interessant funn som kom fram i intervjuene var at flere ikke så på feilproduksjon som noe som forsinket takten. Grunnen til dette var at overleveringene skjedde til planlagt tidspunkt uansett om det var blitt produsert feil eller ikke, og feilene ble rettet parallelt med taktplanen. Det interessante var at flere av de som tidlig i intervjuet ikke så på dette som en kilde til forsinkelser i takten, presiserte at rettingsarbeidet førte til forsinkelser senere i taktproduksjonen. Ved å overlevere taktområdet med feil eller mangler vil ofte ikke alle forutsetningene for de neste fagene være til stedet. Det kan hindre fag i å gjøre ferdig arbeidet i taktområdet og derfor måtte komme tilbake etter det faget som gjorde feilproduksjonen er ferdig med å rette feilen. Det oppstår dermed en urasjonell rekkefølge av fag i taktområdet som skaper en rekke med fag som ikke klarer å gjøre ferdig arbeidet sitt. Denne rekken forsterkes ytterligere når rettingen må skje etter for eksempel parkett, maler eller annet finish-arbeid allerede er gjort. Informantene understrekte hvor lett det er å skade andre fags arbeid i form av uforsiktighet eller ulykker når fagene må tilbake for å rette feil. Ofte fører retting av én feil til at en lager flere andre feil og dermed lager en dominoeffekt av feil.

Intervjuene avslørte at dersom en forsinkelse oppstår i taktproduksjonen – uansett årsak – er sannsynligheten stor for flere forsinkelser senere på grunn av de tette koblingene mellom taktvognene. Som i eksempelet med skader tidligere i teksten. En forsinkelse i takt fører dermed med seg en parade av forsinkelser.

## **4.2 Forhindre forsinkelser i taktproduksjonen**

I dette delkapittelet presenteres funn – hovedsakelig fra intervjuene dersom ingenting annet er spesifisert i teksten – på hvordan det jobbes for å forhindre forsinkelser i taktproduksjonen gjennom taktplanleggingsprosessen og i gjennomføringsfasen. Funnene er oppsummert i Tabell 11 og Tabell 12 Tabell 12 fra henholdsvis gjennomføringsfasen og taktplanleggingsfasen.

**Tabell 11 – Svar på forskningsspørsmål 2: Hvordan kan det jobbes proaktivt i produksjonsfasen for å forhindre forsinkelsene i forskningsspørsmål 1?**

<b>Tiltak</b>	<b>Beskrivelse</b>
<b>Ukentlige møter</b>	For å opprettholde takten kan det utføres ukentlige møter der alle fagene og representanter fra prosjektledelsen møtes for å planlegge 1-3 uker fram i tid. I møtet bør det utføres hindringsanalyser for å avdekke mulige forstyrrelser til taktproduksjonen så tidlig som mulig og sette i verk tiltak før de oppstår. Engasjement hos alle deltagerne i møtet er avgjørende for å gjøre ukentlige møter til et effektivt verktøy for å forhindre forsinkelser i taktproduksjonen.
<b>Daily Huddle</b>	Daily Huddle er et kort, daglig møte som skjer ute på byggeplassen der prosjektledelsen og alle fagene i et prosjekt møtes for å avdekke mulige forstyrrelser til produksjonen og vurdere proaktive tiltak for å forhindre disse. For å gjøre Daily Huddle til et effektivt verktøy er det viktig å involvere nøkkelroller med nødvendig oversikt og beslutningsmandat.
<b>Kvalitetssikring</b>	For å forhindre feilproduksjon er gode kvalitetssikringssystemer (KS-systemer) for alle fag viktig.

#### **4.2.1 Ukentlige møter**

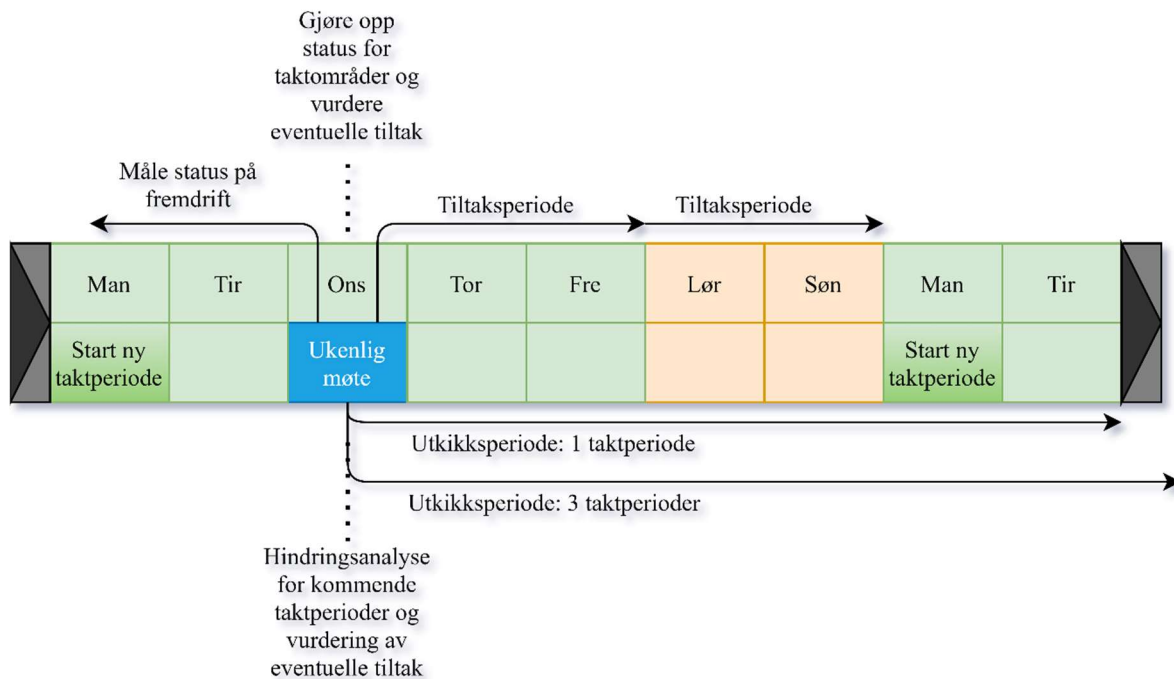
De fleste informantene nevnte ukentlige møter underveis i produksjonen, der representanter fra alle fag i takten er til stede, som et nøkkelverktøy for å forhindre forsinkelser. I alle tilfellene der disse møtene ble benyttet, brukte prosjektet takttid på en uke – ukestakt. Møtet ble referert til som bas-møtet, 3-ukersmøtet eller ukentlig utsjekk og varierte i omfang og gjennomføring mellom informantene. Felles for alle informantene er hensikten med møtet å måle statusen på fremdriften for hvert enkelt fag i takten og planlegge fremover for å opprettholde takten. Som oftest var deltagerne på møtet baser fra hvert fag og representanter fra prosjektledelsen som anleggsleder og/eller driftsleder.

Informantene forklarte at de ukentlige møtene startet med at hvert fag presenterte hvordan de lå an i forhold til taktplanen. Dette gir prosjektledelsen og fagene god oversikt over statusen på fremdrift i taktområdene. Noen informanter sa at presentasjonene var nyttige for å avsløre om et fag hadde kontroll og om de kom til å bli ferdig i området til overlevering, eller om det burde stilles spørsmål til fremdriften.

Dersom forstyrrelser eller mindre forsinkelser oppstår i taktområdene må det planlegges for hvordan faget skal klare å overlevere til rett tid. I intervjuene kom det fram at det er kritisk å

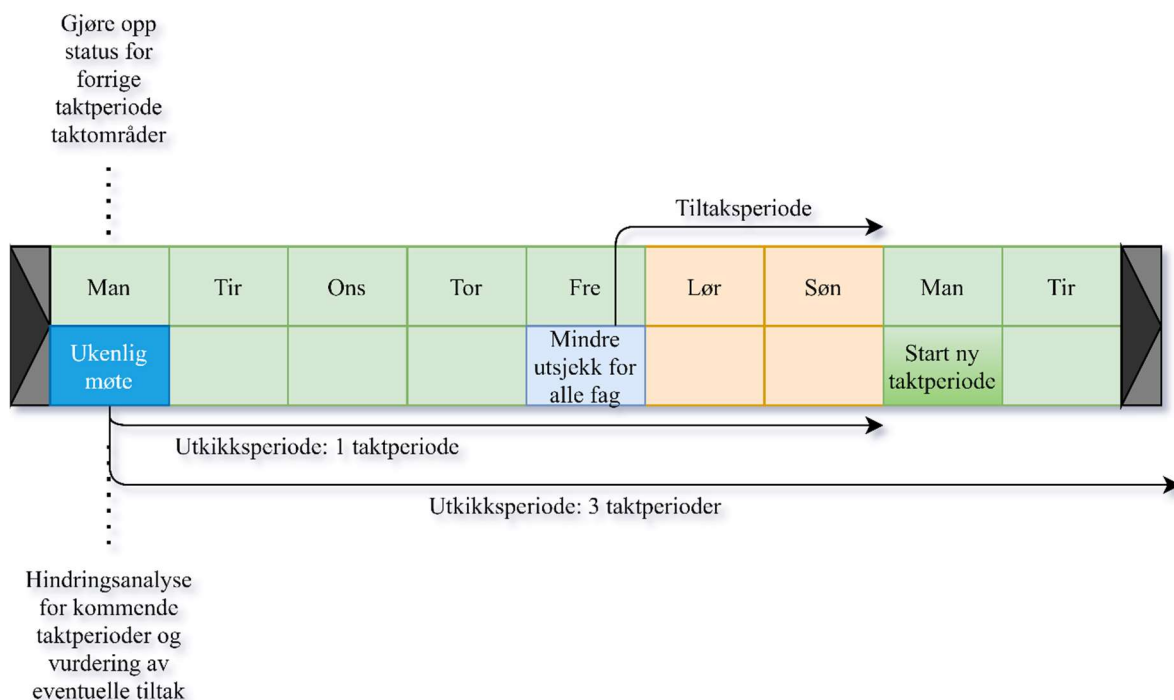


avholde møtet slik at det er tid til å igangsette tiltak før overlevering og dermed forhindre forsinkelser i takten. Noen informanter mente at møtet burde holdes midt i taktperioden – det vil si onsdag i ukestakt – fordi det ga tilstrekkelig tid i forkant for å gjøre seg en mening om status på fremdriften, samtidig som det var nok tid i etterkant til å iverksette tiltak som illustrert i Figur 12.



**Figur 12 – Eksempel på ukentlig møte avholdt midt i ukestakt-periode**

Andre informanter foreslo å gjøre møtet på starten av taktperioden og følge det opp med en mindre utsjekk mot slutten – henholdsvis mandag og fredag i ukestakt – som illustrert i Figur 13. Argumentet for den siste varianten var at de hadde opplevd at det var for seint å ta status midt i taktperioden, slik at forsinkelsene allerede var oppstått. De som holdt møtet midt i taktperioden argumenterte for at det var for seint å iverksette enkelte tiltak når utsjekken skjer mot slutten av perioden.



**Figur 13 – Eksempel på ukentlig møte avholdt i starten av ukestaktperiode med oppfølgings utsjekk mot slutten**

Tiltak som er benyttet i de ukentlige møtene for å forhindre forsinkelser er i hovedsak økt bemanning eller overtid. En informant sa at hele poenget med taktplanlegging og -produksjon er å kunne justere bemanningen i taktområdene for å tilpasse produktiviteten. Dersom det kom fram av det ukentlige møtet at et fag hadde produsert for lite i forhold til planen er et tiltak å sette på flere arbeidere i taktområdet for å øke produksjonen resten av taktperioden og dermed bli ferdig til avtalt tid. Alternativt er overtid mye brukt. Det vil si at fagene arbeider utenfor den normale arbeidstiden. Det vil si at de jobber lengre dager eller i helgen for å få ferdig taktområdet til overlevering.

I tillegg til å bruke det ukentlige møtet til å sjekke status på fremdrift og gjøre eventuelle tiltak, sa informantene at møtet blir brukt for å se fremover og planlegge for de neste tre taktperiodene, med hovedfokus – det vil si utkikkperiode – på den nærmeste perioden, som illustrert i Figur 12 og Figur 13. I denne delen av møtet utføres en type hindringsanalyse der eventuelle leveranser, logistikkforstyrrelser eller arbeidsoperasjoner som kan ha innvirkning på andre fag blir belyst. I hindringsanalysen refererte informantene og dokumentanalysen til syv forutsetninger som må være til stede for å kunne starte arbeid i et taktområde:

1. Forutgående arbeid: Alle forutgående arbeid skal være avsluttet
2. Informasjon: Nødvendig informasjon må være tilgjengelig
3. Mannskap: Mannskap med riktig kompetanse må være tilgjengelig
4. Materialer: Materialer må være på plass
5. Utstyr: Utstyr skal være tilgjengelig
6. Arbeidsplassen: Arbeidsplassen skal være tilgjengelig og ryddet
7. Ytre forhold: Sjekk værvarslet og gjør tiltak. Sørg for alle godkjenninger er på plass.

Deretter blir løsninger i form av tiltak eller justeringer i driften diskutert og eventuelt iverksatt. I intervjuene kom det fram at det er svært gunstig å involvere fagene i både hindringsanalysen og problemløsningen. Det ble lagt vekt på at det er mer effektivt å finne hindringene og løse dem sammen fordi fagene sitter på detaljkunnskapen til problemene, mens prosjektledelsen til totalentreprenør ofte har nødvendig oversikt over produksjonen og ofte bedre ressurser til å planlegge en fagene selv. Involveringen av alle parter underveis i driften ble sett på som avgjørende for å øke påliteligheten til løsningene eller planene som ble lagd. Dette var fordi fagene bidro med avgjørende detaljkunnskap og opplevde økt forpliktelse og engasjement fordi de selv fikk være med i planleggings- og løsningsprosessen.

Det er også utfordringer knyttet til de ukentlige møtene. Noen informanter sa at de hadde opplevd at deltagere på møtene ikke stilte forberedt. De hadde ikke den nødvendige oversikten over egen produksjon for å kunne si noe om fremdriftsstatus eller eventuelle kommende hindringer. I sammenheng med dette ble rapportert om at de sju forutsetningene har en tendens til å bli ansett som i orden uten å gjøre nødvendige analyser eller undersøkelser for å faktisk forsikre seg om at de er det. Informanter beskrev også noen tilfeller der representanter fra fag som for positive ovenfor egen fremdrift halvveis i taktperioden. Representantene – med andre ord basen – rapporterte ikke om en mulig forsinkelse i takten til tross for at de visste at de så langt ikke hadde produsert nok i forhold til planen. De gamblet på at produksjonshastigheten skulle øke i den resterende taktperioden, uten å sette inn signifikante tiltak. Denne taktikken førte til forsinkelser.

Funnene om manglende oversikt og for positiv innstilling til egen produksjon sees i sammenheng med kapittelet 4.1.6 Manglende forpliktelse, kommunikasjon og nøkkelroller. I tillegg opplevde mange informanter at de ukentlige møtene alene ikke klarer å håndtere alle utfordringene som oppstår på en dynamisk byggeplass. De mente at det er behov for hyppigere møter for å distribuere informasjon og involvere fagene. I flere av intervjuene kom det fram at bruk av Daily Huddle var med på å møte disse behovene.

#### **4.2.2 Daily Huddle**

I intervjuene ble Daily Huddle pekt på som et svært effektivt verktøy for å håndtere utfordringer i den daglige driften på byggeplass. Daily Huddle ble forklart som et 15 minutters møte som tar plass hver morgen klokken 08:00 ute på byggeplassen. Alle fag – både i og utenfor takten – er representert med bas eller driftsleder. Møtet gir muligheten til å distribuere og motta informasjon, som for eksempel kommende leveranser eller logistikkforstyrrelser, og planlegge løsninger for å håndtere disse utfordringene. Derfor er Daily Huddle beskrevet som et verktøy som gjør potensielle forstyrrelser synlige på et veldig tidlig tidspunkt. For eksempel nevnte en informant at hindringer kunne løses momentant på en mandag, istedenfor å vente med løsningen til det ukentlige møtet på onsdag og derfor ikke la hindringen føre til flere problemer enn nødvendig.

Selv om informantene var enige om at Daily Huddle er et effektivt verktøy, avslørte intervjuene at det daglige møtet blir gjennomført annerledes mellom de ulike prosjektorganisasjonene i Consto. I den ene versjonen leder Daily Huddle av tømmerbasen – der tømmer ligger under egenproduksjonen til Consto – og gjennomføres med alle basene fra hvert fag som representanter. Videre kommunikasjon til prosjektledelsen – for eksempel driftsledere,

anleggsledere og prosjektleder – skjer via tømmerbasen. I den andre versjonen leder anleggslederen møtet. Her er også hvert fag, også Constos egenproduksjon, representert med bas og/eller driftsledere. Det ble også nevnt at til og med prosjektleder i noen prosjekter var til stede i møtet for å gi Daily Huddle seriøsitet og prioritet. En informant sa at prosjektledelsen i enkelte prosjekter ikke fikk lov å planlegge møter eller avtaler før etter klokke 09:00 fordi de skulle ha tid til å prioritere og håndtere sakene som ble tatt opp i møtet. Informanten mente at ved å legge stor vekt på Daily Huddle, med personell som har oversikt over prosjektet og nødvendig beslutningsmandat, ble kommunikasjonsveiene kortet ned og på problemene som ble belyst ble løst raskere. Ved å gjennomføre møtet på denne måten så ikke prosjektorganisasjonen behovet for de ukentlige møtene og brukte kun Daily Huddle som kontrollmøte i produksjonen.

### **4.2.3 Kvalitetssikring**

Et av tiltakene som ble trukke fram av informantene for å forhindre feilproduksjon var krav til gode kvalitetssikringssystemer (KS-systemer) for alle fag. Et KS-system skal sikre at alt arbeidet er utført og i henhold til plan og lovverk. KS-systemet sikrer også forutsetningen om at forutgående arbeid er ferdig for det følgende faget i taktområdet.

## 4.2.4 Planleggingsfasen

Et funn fra case-studien er at taktplanleggingsprosessen er avgjørende for en stødig taktproduksjon. Det er her alle deltagerere i taktproduksjonen – representanter fra alle fag og prosjektledelsen – skaper forpliktelsen og engasjementet som er nødvendig for å forhindre forsinkelser. Fordi planleggingsfasen er så viktig for taktproduksjonen oppga flere informanter at det er kritisk å forbedre denne prosessen fra prosjekt til prosjekt for kontinuerlig læring og dermed øke produktiviteten i prosjekter.

**Tabell 12 – Svar på forskningsspørsmål 3: Hva bør gjøres i taktplanleggingsfasen for å forhindre forsinkelser i taktproduksjonen?**

<b>Mekanisme/tiltak</b>	<b>Beskrivelse</b>
<b>Kontinuerlig læring</b>	For å forbedre taktplanleggingsprosessen må den knyttes til erfaringer som er gjort i taktproduksjon i tidligere prosjekter. Derfor er det også viktig å ha høy grad av involvering av fagene også i taktproduksjonsfasen for å få innsyn i hva som har fungert og ikke i taktplanleggingen.
<b>Møteserien 16-12-8-4-1</b>	For å forhindre feilproduksjoner er det viktig å sikre en god overgang fra prosjektering til produksjon. Møteserien 16-12-8-4-1 kan bidra til at fagene i taktproduksjonen er godt kjent med og har kvalitetssikret produksjonsunderlaget.
<b>Leveranse- og logistikkplanlegging</b>	Leveranse- og logistikkplanlegging bør være en del av taktplanleggingsprosessen for å forhindre senere forsinkelser i gjennomføringsfasen.
<b>Forbedre forpliktelse, kommunikasjon og sikre seg nøkkelroller gjennom hele prosjektet</b>	Stor grad av involvering av fagene i taktplanleggingsprosessen øker forpliktelsen, engasjementet og kommunikasjonen hos deltagerne.. Selve planleggingsprosessen – ikke bare taktplanen som er produktet fra prosessen – er avgjørende for god forpliktelse, engasjement og kommunikasjon. Det er vanskelig å videre kommunisere denne prosessen i ettertid mellom roller i prosjektet og det bør derfor forsikres at nøkkelrollene som er med i planleggingsprosessen blir med også i gjennomføringsfasen.

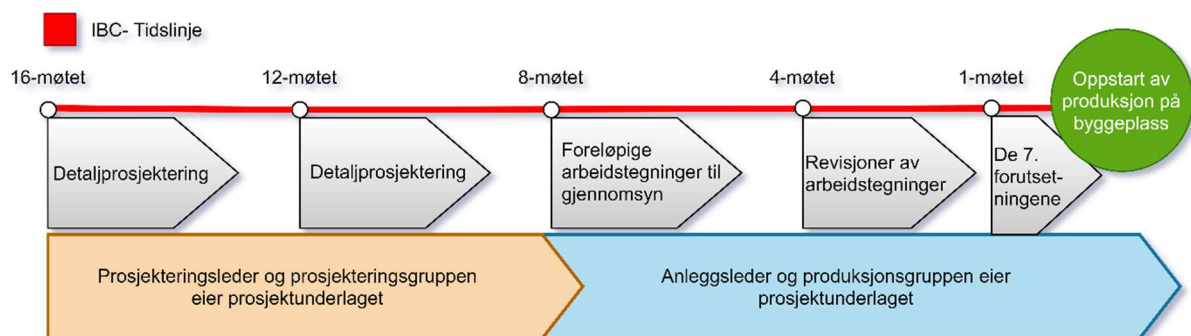
### 4.2.4.1 Kontinuerlig læring

Fra intervjuene ble det avdekket at involvering av fag i taktplanleggingsprosessen er avgjørende for å få til kontinuerlig læring i taktplanlegging og -produksjon. For å forbedre taktplanleggingsprosessen må den knyttes til erfaringer som er gjort i taktproduksjon i tidligere prosjekter. Det er essensielt å observere hvordan taktplanleggingen virker inn på taktproduksjonen. Derfor er det også viktig å ha høy grad av involvering av fagene også i

taktproduksjonsfasen for å få innsyn i hva som har fungert og ikke i taktplanleggingen. I intervjuene kom det fram at taktplanlegging og -produksjon drar stor nytte av den felles kunnskapsbanken en kan ta nytte av når hvert fag kan bidra i et involverende miljø.

#### 4.2.4.2 Overlevering mellom prosjektering og produksjon – Møteserien 16-12-8-4-1

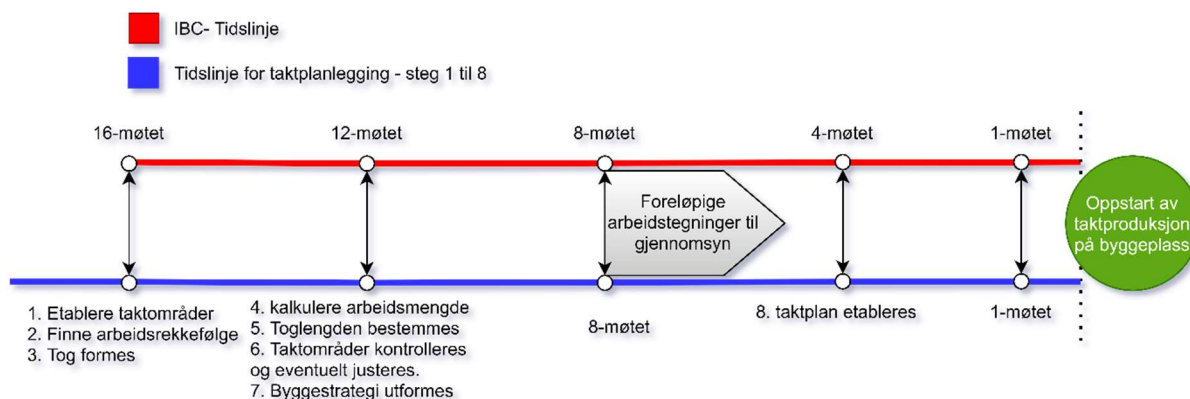
I intervjuene kom det fram at overleveringen av produksjonsunderlaget fra prosjekteringsgruppen til produksjonsgruppen var avgjørende for å hindre forsinkelser i produksjonen. Noen informanter nevnte Møteserien 16-12-8-4-1 som et verktøy for å sikre denne overleveringen. Det interne dokumentet som omhandler Constos byggestrategi, Involverende Bygging i Consto (IBC), forklarer møteserien 16-12-8-4-1 som en fem-møterlang møteserie. Formålet med møteserien er å forsikre at produksjonsunderlaget er tilstrekkelig for å opprettholde arbeidsflyt i produksjonsfasen. Som illustrert i Figur 14 starter møteserien 16 uker før oppstart på en aktivitet på byggeplassen – for eksempel råbygg eller yttervegg etc.



Figur 14 - Møteserien 16-12-8-4-1 fra IBC

I 16-møtet er det prosjekteringsgruppen som eier produksjonsunderlaget og møtet ledes av prosjekteringslederen, men anleggsleder, kontraherte underentreprenører eller sideentreprenører er allerede til stede på møtet. I møtet går de over detaljprosjekteringen i forbindelse med aktiviteten. Eventuelle utfordringer eller uavklarte saker i produksjonsunderlaget skal deretter løses innen de fire ukene før de igjen møtes tolv uker før oppstart av aktiviteten. I 12-møtet er det fortsatt prosjekteringsgruppen som eier produksjonsunderlaget og går nok en gang gjennom detaljprosjekteringen for å gjøre det klart for produksjon.

I følge IBC tar produksjonsgruppen over produksjonsunderlaget åtte uker før oppstart, i 8-møtet. I dette møtet går fagene over produksjonsunderlaget for å forsikre seg om at det inneholder nødvendig informasjon for produksjonen – som for eksempel tittelfelt, teksting, målsetting etc. Fagene kommer med tilbakemeldinger og eventuelle revisjoner får frist til fire uker før oppstart av aktiviteten. I 4-møtet gjøres det nok en gjennomgang av produksjonsunderlaget. Én uke før oppstart av aktiviteten er det skal produksjonsunderlaget være klart for produksjon og agendaen for 1-møtet er å forsikre at de syv forutsetningene er til stede før oppstart.



Figur 15 - Møteserien 16-12-8-4-1 og de 8 stegene i taktplanlegging fra IBC

I forbindelse med taktproduksjon sa informantene at møteserien 16-12-8-4-1 gjøres i forkant av den første vognen i takttoget, som vist i Figur 15. Det vil si at det utføres én møteserie for hele taktproduksjonen, parallelt med taktplanleggingsmøtene. De mente at møteserien trygget taktproduksjonen og bidro til færre hendelser av feilproduksjon og unødvendig venting på grunn av oppklaringer fra prosjekteringsgruppen. Fra dokument analysen viste det seg at taktplanleggingens første tre steg kan gjøres uavhengig av 16-12-8-4-1 møteserien – fordi detaljeringsbehovet ikke er så høyt på dette tidspunktet. De neste stegene – steg 4 til 7 – bør gjøres i forbindelse med 12-møtet da modenheten av underlaget er større. Det siste steget – etablere taktplanen – bør gjøres i forbindelse med 4-møtet.

#### 4.2.4.3 Leveranser og logistikk

Funnene fra intervjuene viser at det er nødvendig å kreve en leveranseplan fra hvert fag for å få til presise leveranser gjennom taktproduksjonen. Flere informanter påpekte at taktplanen i seg selv er et svært nyttig verktøy for å planlegge leveransene på grunn av planens oversiktlige og enkle inndeling av taktområder med en gitt arbeidsmengde som skal utføres til en gitt tid. For eksempel ved bruk av ukestakt, vet det faget som skal montere himlingen allerede før produksjonsstart hvor mange kvadratmeter himling som skal monteres i uke 14 i taktproduksjonen. Da vet de også at så mange kvadratmeter himling må leveres mandags morgen i den uken. Taktplanen er dermed lett å transformere til en leveranseplan og kan i seg selv bidra til presise leveranser dersom hvert fag legger inn bestillinger så tidlig som mulig, i stedet for så seint som mulig. Når de kan og ikke når de må.

Flere informanter mente at leveranseplanen fra et fag bør kvalitetssikres av prosjektledelsen. Kvalitetssikringen bør skje ved at prosjektledelsen som har oversikt over prosjektet og som regel mer kompetanse på planlegging og ledelse enn underleverandøren, diskuterer seg gjennom leveranseplanen med faget som sitter på detaljkunnskapen om arbeidsmetoder og materialer. Ved å involvere begge parter i leveranseplanleggingen kan man hindre mangler ved planen og samtidig gjøre den gjennomførbare.

Fra intervjuene ble det kjent at planlegging av logistikken på byggeplassen er avgjørende for å skape flyten som behøves for å opprettholde takten. Logistikkplanlegging må prioriteres i taktplanleggingsfasen. Detaljeringsgraden av logistikkplanleggingen viser seg å være knyttet til suksessen av gjennomføringen av taktplanen. En informant forteller om hvordan de som totalentreprenør klarte å kutte ned på gjennomføringstiden på innredningsfasen i et

boligblokkprosjekt ved å gå fra ukestakt til en-dags-takt. Etter å ha bygget fire av seks boligblokker i et prosjekt ved bruk av ukestakt startet de å planlegge den femte blokka med en-dags-takt. Den umiddelbare responsen fra deltagerne i taktplanleggingen var at en-dags-takt var umulig å gjennomføre og stilte uoppnåelige krav til logistikk og leveranser fordi de måtte overlevere taktområdet og forflytte seg hver dag. Etter den sterke motstanden fra deltagerne involverte totalentreprenøren seg i logistikk- og leveranseplanleggingen til hvert enkelt fag. For å kunne løse utfordringene som medfølger av en-dags-takt var det viktig å sette seg ned med hvert enkelt fag for å skjønne hva utfordringene deres var og hjelpe til med å finne løsninger. Ved å planlegge logistikk med hvert enkelt fag og lage detaljerte planer for bruk av heis, transportsoner og rutiner ble innredningen i boligblokka utført med en-dags-takt. På neste boligblokk i prosjektet var deltagerne ikke i tvil om at de skulle bruke en-dags-takt på grunn av suksessen de hadde vært med på i den forrige boligblokka.

#### **4.2.4.4 Forbedre forpliktelse, kommunikasjon og sikre seg nøkkelroller gjennom hele prosjektet**

De fleste informantene understrekte viktigheten av forpliktelse og engasjement fra alle aktørene i taktproduksjonen for å gjennomføre taktplanen. Informantene la stor vekt på at forpliktelsen og engasjementet forankres hos aktørene i taktplanleggingsprosessen. Det skilles mellom taktplanen som et produkt og prosessen for å lage den. Gjennom planleggingsprosessen får fagene eierskap til taktplanen fordi de bidrar med egen kunnskap og er med på å bestemme hvordan produksjonen skal gjennomføres. I tillegg blir hvert fag kjent med og utvikler forståelse for utfordringene andre fag står ovenfor i produksjonen.

For å forsikre seg forpliktelse og engasjement fra fagene i produksjonen, oppga flere informanter at det er essensielt å påse at hvert fag stiller med de riktige folkene i taktplanleggingsprosessen. Det vil si at fagene må stille med kvalifisert og beslutningsdyktige representanter med innsikt i egenproduksjon og evne til å planlegge – og ikke minst må de involveres i produksjonsfasen i prosjektet. I enkelte tilfeller vil dette kreve at et fag stiller med flere representanter i taktplanleggingen for å dekke behovet. En informant ga et eksempel på at dersom et fag kun skal ha en lærling i en vogn i taktproduksjonen, så bør lærlingen være en representant i planleggingsprosessen. Dette er for å sikre forpliktelsen, eierskapet og forståelsen av arbeidsmetodene i produksjonsfasen. Om nødvendig burde lærlingen støttes av eget erfarent personell eller aktører fra totalentreprenøren for å gjennomføre planlegging, estimering av timeverk, med mer.

En informant sa at taktproduksjonen i prosjekter der taktplanleggingsprosessen hadde vært sett på som suksessfull trengte mye mindre oppfølging enn andre prosjekter. Dette var fordi alle i prosjektet visste hva som ble forventet av dem, hva de måtte produsere og konsekvensene av å ikke gjøre det. En annen informant henviste til en indre justis mellom fagene i takten, som ble forankret gjennom en god planleggingsprosess. Fordi hver overlevering skjer mellom de samme fagene etter hver taktperiode skaper det en kobling mellom fagene der forventninger ovenfor hverandre blir avklart. Denne indre justisen i prosjektet førte til at forstyrrelser og forsinkelser umiddelbart ble synlig for alle i taktproduksjonen og det kunne dermed gjøres tiltak for å forhindre eller minimere forsinkelsene.



Intervjuene belyste at involvering av fagene i planleggingsfasen økte kommunikasjonen mellom fagene og bidro til kortere kommunikasjonsveier, raskere problemløsninger og mindre konflikter i produksjonsfasen. En informant opplyste om en økt proaktiv holdning og engasjement for å sikre fremdriften hos fagene i et byggeprosjekt der involveringen av fagene i planleggingsprosessen var ansett som vellykket.

På den andre siden, oppga alle informantene at taktplanen er et godt verktøy for å formidle og visualisere elementene fra planleggingsprosessen videre internt hos fagene. Den oversiktlige planen som viser hvor hvert fag skal arbeide, hva som skal gjøres og til hvilken tid er enkel å forstå sammenlignet med tidligere planer – for eksempel gant-diagrammer – og virker motiverende på håndverkerne på byggeplassen.

#### **4.2.4.5 Observasjoner fra taktplanleggingmøter – Nye Hammerfest Sykehus**

I taktplanleggingmøtene for Nye Hammerfest Sykehus ble det observert hvordan prosjektledelsen samarbeidet med underentreprenørene – ei., fagene – som skulle delta i taktproduksjonen for å lage en robust og gjennomtenkt taktplan. Taktmøtene fulgte følgende åtte steg:

1. Etablere taktområder
2. Finne arbeidsrekkefølge (vognene)
3. Forme tog
4. Kalkulere arbeidsmengde
5. Bestemme toglengden
6. Taktområdet kontrolleres og eventuelt justeres
7. Utforme en byggestrategi
8. Etablere taktplanen

En observasjon fra møteserien var at prosjektledelsen hadde fokus på selve planleggingsprosessen. I det første møtet ble prosessen og formålet med den forklart til alle deltagerne. For å dra full nytte av å involvere alle aktørene er det svært viktig at de forstår hvordan de kan påvirke den endelige planen. Prosjektledelsen brukte også tid på å overbevise underentreprenørene om at takt gir fordeler for alle partene i prosjektet, ved å trekke fram hvordan fagene drar nytte av god logistikk og arbeidsflyt.

I de første møtene ble taktområdene etablert. Prosjektledelsen startet prosessen med å gi et forslag til de første områdeinndelingene for så å diskutere fordeler og ulemper med inndelingen fra fagenes perspektiv. Justeringer med hensyn til produksjonsunderlaget og fagenes innspill ble gjort. Videre ble resten av taktområdene etablert av prosjektledelsen mens fagene kom med innspill. Ved at fagene fikk være med i taktområdeetableringen startet en kontinuerlig hindringsanalyse fra fagenes forskjellige perspektiver. Hindringsanalysen vedvarte gjennom hele taktplanleggingsprosessen og ga rot for mange viktige diskusjoner og tiltak for å forhindre mulige forstyrrelser i taktproduksjonen.

Også i neste steg der arbeidsrekkefølgen skulle bestemmes ble den kontinuerlige hindringsanalysen viktig. Prosjektledelsen drev i stor grad prosessen med innspill fra fagene. Her kom det fram hvordan taktplanleggingsprosessen kan dra nytte av den felles

kunnskapsbanken prosjektledelsen og underentreprenørene til sammen sitter på. Hindringsanalysen belyste mulige forstyrrelser, mens kunnskapsbanken hadde i svært mange tilfeller en eller flere mulige løsninger for å forhindre disse.

De viktigste observasjonene fra taktplanleggingsprosessen var at fagenes engasjement og deltagelse økte fordi de har påvirkningskraft gjennom hele prosessen, og at denne deltagelsen gjorde struktureringen av det komplekse byggeprosjektet enklere.

### 4.3 Minimere konsekvensene av forsinkelser

Dette delkapittelet tar for seg funnene på tiltak som kan iverksettes for å minimere konsekvensene av en forsinkelse som allerede har oppstått i taktproduksjonen. Funnene er oppsummert i Tabell 13.

Tabell 13 - Svar på forskningsspørsmål 4: Når forsinkelsen allerede har skjedd, hva gjøres for å forhindre konsekvensene av den?

Tiltak/mekanisme	Beskrivelse
<b>Togstans</b>	En måte å minimere konsekvensene av forsinkelser i taktproduksjonen på, er ved å stanse taktoget for å la et fag gjøre seg ferdig i taktområdet før overlevering. Metoden brukes ved å revidere hele taktplanen og utsette hele taktplanen med en taktperiode.
<b>2-vognstans</b>	2-vognstans er en versjon av togstans der kun de involverte vognene rammes av stansen. Dette går ut på å ikke la neste vogn komme inn i et taktområde før det foregående er ferdig og finne spesielløsninger i samhandling med tiltak som oppbemanning og overtidsarbeid for at det følgende faget skal hente inn taktplanen før videre overlevering. Denne tilnærmingen kan ha mindre konsekvenser for overordnet fremdrift enn full togstans.
<b>Parallell oppretting</b>	En metode som brukes for å minimere konsekvensene av at taktområder som ikke blir ferdigstilt før overlevering, er å la neste vogn starte sitt arbeid i området, samtidig som det foregående faget gjør seg ferdig.

Informantene ga forskjellige svar på spørsmålet om de brukte tidsbuffer i taktplanen. Flere informanter brukte tidsbuffer på slutten av taktplanen, men understreket at dette ikke ble gjort synlig for taktproduksjonens deltagere. En informant oppga at de ikke brukte tidsbuffer for å minimere prosjektets gjennomføringstid. Informanten understreket at dersom det er strengt nødvendig å utsette taktplanen på grunn av forsinkelser, vil det være fordelaktig å revidere taktplanen – det vil si togstans – og dermed forsinke prosjektet, istedenfor å hele tiden arbeide på etterskudd av planen. Dersom forsinkelsene er små vil ikke være grunn til å revidere hele taktplanen, men overleveringen i den forsinkede sonen bør holdes igjen slik at det foregående faget gjør seg helt ferdig. Denne oppgaven kaller denne tilnærmingen for 2-vognstans. De involverte fagene må deretter gjøre umiddelbare tiltak som oppbemanning eller overtidsarbeid for å fortrest mulig komme tilbake på taktplanen. Informanten uttrykker at det er svært viktig å synliggjøre forsinkelsen for alle deltagerne i taktproduksjonen. Dette øker viljen til fagene for å komme tilbake på plan igjen.

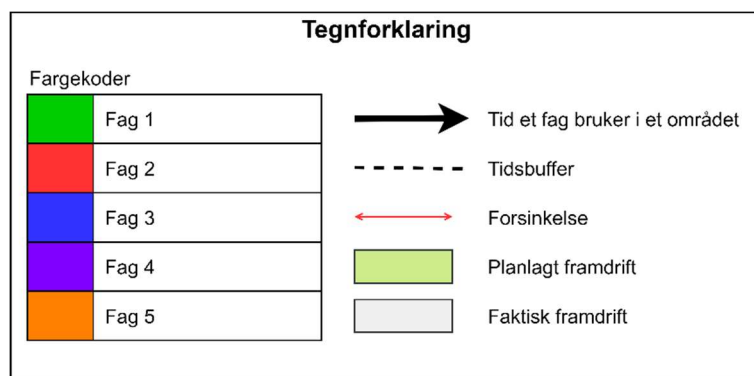
Derimot, kom det fram i intervjuene, at det den vanligste måten å håndtere forsinkelser i taktproduksjonen på var å la neste fag starte arbeidet sitt i det uferdige taktområdet, og løse problemene knyttet til forsinkelsen parallelt med taktplanen. Tilnærmingen gikk ut på å designe spesielløsninger for hvert enkelt tilfelle sammen med faget som skapte forsinkelsen og de som ble berørt av forsinkelsen.

## 5 Diskusjon

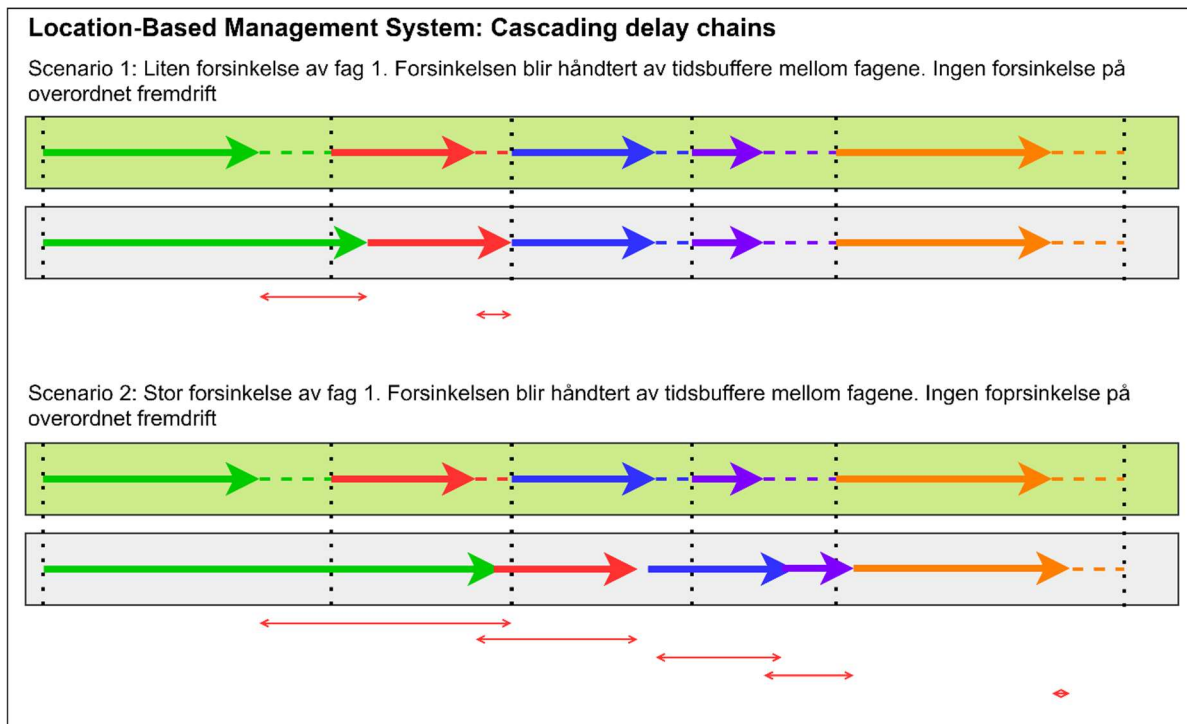
I dette kapitlet drøftes oppgavens funn fra resultatkapitlet i lys av tidligere kjent informasjon. Først blir årsaker til forsinkelser og forsinkelsesparaden i taktproduksjon diskutert, før tiltakene og mekanismene for å forhindre forsinkelsene blir drøftet opp mot eksisterende litteratur. Følgende blir metodene som brukes for å minimere konsekvensene av forsinkelsene sett på. Til slutt i kapitlet blir funnenes relevans og reliabilitet vurdert.

### 5.1 Årsaker til forsinkelser i taktproduksjon

Årsaker til forsinkelser funnet i dette studien bekrefter tidligere funn i litteraturen og er gjeldende for byggeindustrien generelt – ikke bare taktproduksjon. Leveranser, logistikk, byggefeil, feilestimering og kommunikasjon er kjente utfordringer i produksjonsfasen av bygg. Det er likevel skrevet lite om hvordan disse forsinkelsene påvirker taktproduksjonen. Forsinkelsesparaden som ble avdekket i denne oppgaven har ikke før blitt omtalt i forbindelse med taktproduksjon.

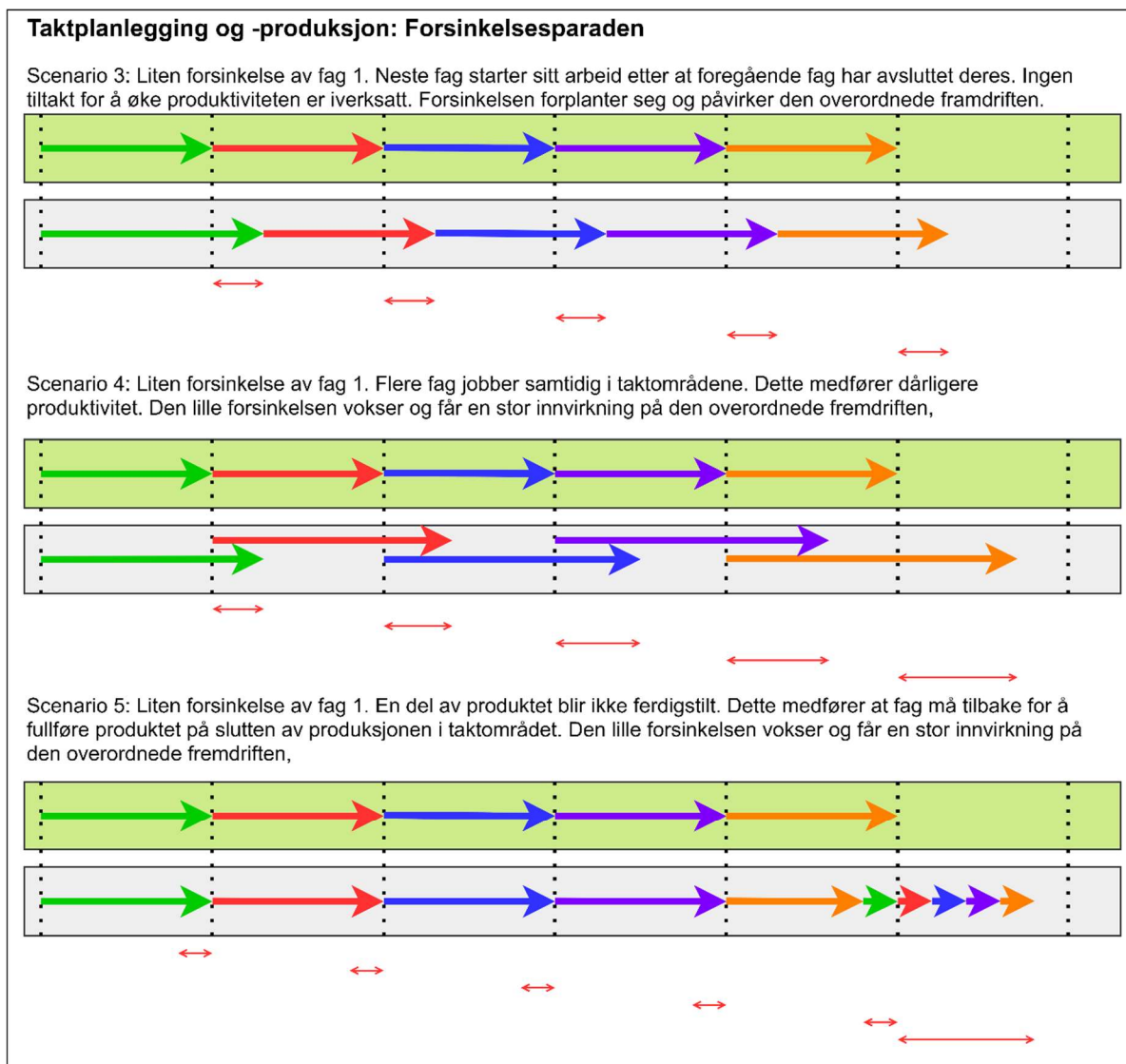


Figur 16 - Tegnforklaring for Figur 17, Figur 18 og Figur 19



**Figur 17 - Illustrering av forsinkelser som forplanter seg ved bruk av Location-Based Management System (Tegnforklaring i Figur 16)**

Forsinkelsesparaden i taktproduksjon drar likhet med det som fra Location-Based Management System (LBMS) er omtalt som *cascading delay chains*. For å forklare konsekvensen av *cascading delay chains* er det i Figur 17 illustrert hvordan en forsinkelse forplanter seg og blir «spist opp» av tidsbufferne ved bruk av LBMS er det. Som litteraturen nevner, har forsinkelser en tendens til å ikke påvirke den overordnede fremdriften i et prosjekt på grunn av bruk av tidsbufferne mellom fagene.



**Figur 18 - Illustrering av forsinkelser som forplanter seg ved bruk av taktplanlegging og -produksjon (Tegnforklaring i Figur 16)**

Forskjellen mellom fenomenene er at *cascading delay chains* beskrives som aktiviteter som blir tvunget til å forskyves i tid på grunn av tidligere forsinkelser, mens forsinkelsen som oppstår fra forsinkelsesparaden i taktproduksjonen har en eskalerende effekt som illustrert i Scenario 4 og 5 i Figur 18. Scenario 4 viser hvordan forsinkelsen vokser ved å la fag arbeide parallelt i et taktområde for å innhente taktplanen. Dette er ikke resultatet for alle tilfeller der fag jobber sammen i et område, men et mulig utfall som kom fram av intervjuene i denne studien.

I Scenario 5 i Figur 18 illustreres det hvordan en stor forsinkelse blir til på slutten av taktproduksjonen ved at et fag ikke klarer å ferdigstille produktet til overlevering. Dersom et taktområde overleveres feilprodusert til neste vogn, er det sannsynlig at rettingsarbeidet krever riving som kan føre til skader på foregående arbeid. For eksempel ved fjerning av festemidler som skruer, spiker eller lim. Dette lager et behov for flere aktiviteter fra flere fag for å rette opp i feilproduksjon. Om rettingsarbeidet foregår parallelt med taktplanen, fører dette igjen til forstyrrelsene som er diskutert tidligere. I tillegg er urasjonell rekkefølge av fag en konsekvens av forsinkelser som kan føre til eskalert forsinkelse i produksjonen. Spesielt ved forsinkede

leveranser og rettingsarbeid som ikke blir håndtert med engang, men forblir ugjort til slutten av prosjektet, vil fag risikere å måtte jobbe i en urasjonell rekkefølge og være i stor fare for å gjøre skade på foregående arbeid.

Ifølge litteraturen har cascading delay chains i LBMS liten innvirkning på prosjektets overordnede fremdrift og overlevering til kunden skjer til planlagt tid på grunn av bruken av buffere i produksjonen som illustrert i Figur 17. Siden taktproduksjon har minimert bruk av tidsbuffer sammenlignet med LBMS, og forsinkelsesparaden har en eskalerende effekt, er sannsynligheten større for å forsinke hele prosjektet på grunn av at et fag eller produksjonsenhet blir forsinket ved bruk av taktproduksjon enn LBMS. Det kreves mer forskning på effekten forsinkelsesparaden og bruk av buffere har på et prosjekts overordnede forsinkelse.

Uansett vil forsinkelsesparaden medføre økt sløsing i prosjektet om den påvirker prosjektets overordnede fremdriftsplan eller ikke – og bør sees i sammenheng med Talebi et al. sitt begrep om *chains of waste*. I Lean-litteraturen vil det å gi fra seg et defekt produkt – det vil si å overlevere et uferdig eller feilprodusert taktområde – resultere i økt sløsing. For å forhindre dette er foreslått litteraturen justeringsmekanismer for takt produksjonen. For eksempel togstans, som følger prinsippene fra Jidoka. En togstans vil hindre overlevering av et mangelfullt taktområde, men ikke hindre forsinkelsen som har oppstått i å påvirke prosjektet. En togstans i taktproduksjonen kan sammenlignes med å gjennomføre en kontrollert cascading delay chain, men uten tidsbuffere for å ta opp forsinkelsen. Togstansen vil derfor forsinke den overordnede fremdriften i prosjektet – det vil si at det kreves en revisjon av fremdriftsplanen. På den andre siden, er fordelene med justeringsmekanismen at den eskalerende effekten fra forsinkelsesparaden blir eliminert. For å opprettholde prosjektets fremdriftsplan og minimere sløsing er det viktig å strebe etter å forhindre forsinkelser i taktproduksjon, fremfor å reagere på dem etter at de inntreffer.

## **5.2 Forhindre forsinkelser i taktproduksjon**

Fra intervjuene avdekker oppgaven hvordan prosjektledelsen i Consto arbeider proaktivt for å forhindre forsinkelser underveis i taktproduksjonen. De to mest brukte kontrollverktøyene var ukentlige møter og Daily Huddle. Begge disse verktøyene er beskrevet tidligere i litteraturen om LPS. Lehtovaara et al. sin modenhetsmodellen viser at teknisk taktplanlegging, det laveste modenhetsnivået i takt, ikke innebærer bruk av kontrollverktøy. Det vil si at taktproduksjonen, teoretisk sett, ikke trenger planlegging underveis i produksjonen fordi alt arbeidet er forhåndsbestemt i den pushbaserte taktplanen. I virkeligheten viser litteraturen og funnene i denne oppgaven til at taktproduksjonen er avhengig av støtte fra kontrollverktøy underveis for å opprettholde takten.

### **5.2.1 Ukentlige møter**

De ukentlige møtene er et effektivt verktøy for å skaffe seg oversikt over alle fagenes produktivitet og avdekke mulige forsinkelser på et tidlig tidspunkt. Intervjuene avslørte at møtene ble gjennomført med involvering av alle fagene i produksjonen, representert med bas, og elementer fra LPS-litteraturen som lookahead-planlegging og hindringsanalyse. Som tidligere studier foreslo, ble det funnet at disse LPS-mekanismene hjelper taktproduksjonen



med å håndtere variabiliteten som ikke blir tatt hånd om i taktplanleggingsprosessen. Men, litteraturen sier lite om hvordan dette blir gjennomført.

Resultatene i denne oppgaven viser at ukentlige møter bidrar til å håndtere variabilitet ved å planlegge i felleskap med alle fagene for tre uker fram i tid. Denne planleggingsprosessen har som hensikt å avdekke mulige produksjonsforstyrrelser som leveranser, store variasjoner i arbeidsmengder eller andre forhold, for så å analysere om det er behov for tiltak for å opprettholde takten. Alle berørte fag var med i planleggingen for å finne de beste løsningene for hele produksjonen.

Taktproduksjon er beslektet med LBMS. I litteraturen er kombinasjonen av LBMS og LPS i produksjon godt beskrevet. Ukentlige møter fra LPS i kombinasjon med kontrollverktøy fra LBMS gir økt forutsigbarhet i produksjonen og gir prosjektledelsen rom for å sette i verk tiltak mot mulige forsinkelser før de oppstår. Bruken av flytlinjene fra LBMS og ukentlige møter fra LPS er i litteraturen beskrevet som komplementerende fordi flere mulige forsinkelser blir avdekket enn ved bruk av kun en av mekanismene. I taktproduksjon er ikke kontrollmekanismer som for eksempel flytlinjer brukt. Dermed kan ikke taktproduksjon i kombinasjon med LPS dra nytte av to ulike kontrollsystemer som LBMS kombinert med LPS kan. I forbindelse med taktproduksjon, vil ukentlige møter fungere likt som ved bruk av kun LPS som produksjonssystem. Fordelen ved bruk av taktproduksjon og LPS er, som litteraturen også foreslår, at taktplanen bidrar til et forutsigbart miljø for LPS. Taktplanen bidrar med enkel visualisering av den kommende produksjonen og gjør det enklere for fagene å utføre lookahead-planleggingen med tanke på leveranser, logistikk og mulige forsinkelser.

I intervjuene kom det fram at ukentlige møter var et effektivt verktøy for å legge til rette for leveranser, logistikk og håndtere mulige forsinkelser, til tross for at informantene hadde forskjellige tilnærminger til hvordan de gjennomførte møtet. Ved å gjennomføre møtet midt i taktperioden – på en onsdag i ukestakt – mente noen informanter at de fikk tilstrekkelig med tid til å observere produksjonen og dermed kunne si om fagene ble ferdig i taktområdene i tide, samtidig som de hadde nok tid etter møtet til å iverksette tiltak hvis ikke. Andre informanter mente at det ukentlige møtet burde avholdes i starten av taktperioden – det vil si på mandag – for å skaffe nødvendig oversikt over den kommende taktperioden. Denne tilnærmingen krevde også en mindre utsjekk av hvert fag på slutten av taktperioden for å avgjøre om tiltak var nødvendig for å fullføre taktområdene i tide. Begge tilnærmingene viser seg å gi økt kontroll over taktproduksjonen. Ved å gjennomføre møtet midt i taktperioden er det flere muligheter for tiltak som oppbemanning, overtid eller en kombinasjon av de to. Mens ved bruk av et tidlig møte og en utsjekk på slutten av taktperioden er det kun helgearbeid som fungerer som tiltak. Uansett tilnærming viser dette studien at det krever hyppigere planlegging av logistikk og involvering av fagene for å opprettholde arbeidsflyten i taktproduksjon.

### **5.2.2 Daily Huddle**

I resultatdelen i denne oppgaven ble fram Daily Huddle trukket fram som et effektivt verktøy for å kontrollere taktproduksjonen hyppig som tidligere litteratur også erkjenner. Som for de ukentlige møtene, var det også forskjellige tilnærminger til gjennomføringen av Daily Huddle. Forskjellen mellom tilnærmingene var i hovedsak hvem som deltok i de daglige møtene og

hvordan tiden etter møtet ble prioritert til å håndtere det som ble tatt opp i møtene. Ved å involvere en nøkkelrolle som anleggsleder i Daily Huddle ble tiltak for mulige forstyrrelser til produksjonen satt i verk tidligere fordi anleggslederen hadde nødvendig oversikt over prosjektet og beslutningsmandat. Ved å ikke tillate prosjektledelsen å planlegge andre møter i timen etter Daily Huddle, ble det sikret nok tid å håndtere utfordringene som ble belyst i møtet. Ved å prioritere Daily Huddle på denne måten visste det seg at et prosjekt kunne bruke disse møtene som det eneste kontrollverktøyet for taktproduksjonen.

### **5.2.3 Kvalitetssikring**

Fra intervjuene ble kvalitetssikring oppgitt som en løsning på å hindre feilproduksjon og overlevering av et mangelfullt taktområde. Gode rutiner og effektive systemer for kvalitetskontroll er kjent fra litteraturen for å ha en gunstig innvirkning på produktiviteten i et prosjekt. Et spørsmål er om kvalitetssikring kan brukes som et proaktivt kontrollverktøy i taktproduksjon eller ikke. Dersom kvalitetskontrollen i et taktområde skjer i nødvendig tid før overlevering, slik at det er tid til å iverksette tiltak for å ordne eventuelle avvik i kvalitet før neste vogn i takttoget tar over området, er kvalitetssikring et proaktivt kontrollverktøy. Det er derfor nødvendig med en form for buffer fra arbeidet er i et område er ferdig til neste fag overtar. For eksempel kan overtid og helgearbeid brukes.

Et annet spørsmål er om kvalitetskontroll i taktproduksjon skal skje som én kontroll – for eksempel én inspeksjon mot slutten av taktperioden – eller om kvalitetskontroll bør være en kontinuerlig rutine i hvert fags arbeid. Hvis kvaliteten kan sikres gjennom hele taktperioden kan eventuelle tiltak settes i gang tidligere og dermed ha mindre risiko for å forsinke overleveringen av området. Denne oppgaven sier ingenting om hvilke rutiner som finnes for kvalitetssikring i dag. Temaet bør utforskes nærmere i senere studier om taktproduksjon.

### **5.2.4 Planleggingsfasen**

Litteraturen om takt i byggeprosjekter legger stor vekt på taktplanleggingsprosessen for å få til nødvendig arbeidsflyt i produksjonsfasen. Funnene i denne oppgaven bekrefter dette. Funnene viser at det er fordelaktig å involvere fagene som skal utføre arbeidet i planleggingen av takten for å skape nødvendig forpliktelse fra fagene til taktplanen, samt å gjøre taktplanen mer pålitelig i tråd med filosofien bak LPS. Involvering i taktplanleggingen er også avgjørende for kommunikasjonen mellom fagene og prosjektledelsen i produksjonsfasen. Basert på dette vil TTP være en mer fordelaktig tilnærming til taktplanlegging enn TPTC i den norske byggeindustrien. Involvering av fagene i taktplanleggingen er ikke bare fordelaktig i et enkelt prosjekt, men på organisasjonsnivå på grunn av kontinuerlig læring fra prosjekt til prosjekt.

I tillegg viser resultatene i denne oppgaven at det er avgjørende å ha de riktige representantene fra fagene med i taktplanleggingen. En utfordring er for eksempel at et fag stiller med én bas i planleggingsprosessen, og en annen når produksjonen starter. Forpliktelsen og kommunikasjonen som involveringen i planleggingsfasen gir, er vanskelig å kommunisere videre til en ny aktør. Dermed vil forpliktelsen og kommunikasjonen som etableres i taktplanleggingsprosessen kunne gå tapt ved å skifte aktører i nøkkelroller etter planleggingsfasen er over. For å forhindre dette må prosjektledelsen strebe etter å sikre at fag stiller med representanter som deltar fra planleggingsfasen og ferdigstilling av prosjektet. For

videre forskning er det interessant å utforske hvordan dette kan sikres. For eksempel gjennom kontrakter eller å bedre kommunisere tidlig i prosessen hvilke fordeler dette gir.

Ved å sikre de samme nøkkelrollene gjennom hele prosjektet blir overgangen mellom planlegging og produksjon forbedret. Et annet funn i denne oppgaven er en veldesignet overlevering av produksjonsunderlaget i overgangen mellom prosjektering- og produksjonsfase er fordelaktig for å hindre utføring som feilproduksjon og feilestimering. Litteraturen påpeker at det er gunstig å designe et produksjonssystem for hele prosjektet – fra prosjektering til overlevering – og foreslår å basere produksjonssystemer på LPS-prinsipper. Møteserien 16-12-8-4-1 er et effektivt verktøy for å håndtere overgangen mellom prosjekterings- og produksjonsfasen ved å gradvis gjøre fagene i produksjonen kjent med produksjonsunderlaget. Samtidig som blir produksjonsunderlaget kvalitetssikres av fagene – det vil si de som utfører arbeidet. Ved å la produksjonsunderlaget modne sammen med planleggingsprosessen kan sløsing i form av sene revisjoner og flere runder med prosjektering hindres. Metoden kan også sikre at estimeringer av arbeid i forbindelse med taktplanleggingsprosessen blir mer nøyaktig fordi prosjektunderlaget er modent nok. Møteserien 16-12-8-4-1 er et interessant funn som bør utforskes nærmere i senere studier.

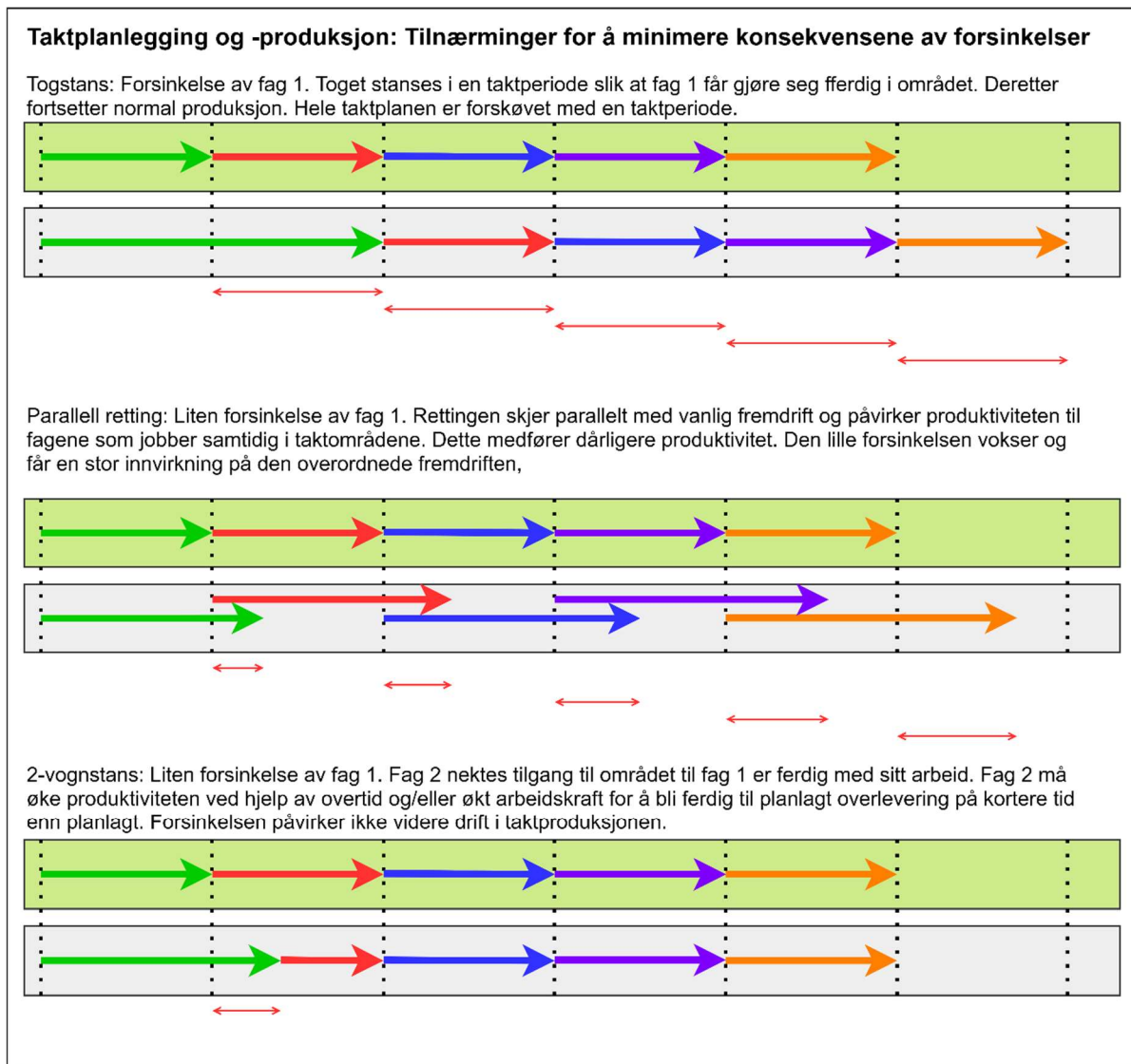
Et modent produksjonsunderlag som fagene har god kjennskap til er avgjørende for taktplanleggingsprosessen og prosessens sluttprodukt: taktplanen. Taktplanen er i denne oppgaven beskrevet som et godt verktøy for å visualisere produksjonsplanen og derfor skape eierskap og bedre kommunikasjonen mellom alle deltagerne i prosjektet. Men funnene i denne oppgaven viser også at taktplanen trenger tilleggsplanlegging for å oppnå god arbeidsflyt i produksjonsfasen. Planlegging av leveranser og logistikk på byggeplassen er avgjørende for å få til taktplanen.

I intervjuene ble taktplanen sagt å være enkel å konvertere til en leveranseplan fordi hvert fag vet, til enhver tid, hvor og når de trenger materialer eller utstyr. Til tross er for sent leverte leveranser det som ble nevnt flest ganger som årsak til forsinkelse i taktproduksjon. Noen informanter mente at en løsning er at prosjektledelsen må kreve leveranseplaner fra alle fag tidlig i prosjektet og sørge for at leveransene er bestilt. De argumenterte dette med at bestillinger ikke kan legges for tidlig inn fordi de i de aller fleste tilfeller kan justeres dersom det er nødvendig. Da vil taktproduksjonen slippe at fagene avventer og gambler på å legge inn bestillinger til prosjektet. Det kan være interessant å utforske om leveranseplanen bør være en del – det vil si et steg – av taktplanleggingsprosessen og hvordan dette bør implementeres.

I tillegg krever taktplanen tilleggsplanlegging for logistikken på byggeplassen. Transport og lagring av materialer trenger nøye planlegging. En informant viste til at det var nødvendig å detaljplanlegge logistikken for hvert enkelt fag i taktproduksjonen og at dette hjalp på arbeidsflyten i produksjonsfasen. Spesielt områder som både er et taktområde og et transportområde trenger nøye planlegging for å sikre fremdriften i taktproduksjonen. Dette er tidligere kjent fra litteraturen om Lean Construction. I forbindelse med Koskelas TFV-teori øker arbeidsflyten i produksjonen gjennom å planlegge for de ikke-verdiskapende, men nødvendige aktivitetene – det vil si logistikk, leveranser, kvalitetssikring etc. – mellom de verdiskapende aktivitetene som er forbundet med fagenes produksjon i taktområdene.

### 5.3 Minimere konsekvensene av forsinkelser i taktproduksjon

Informantene oppga tre forskjellige tilnærminger til hvordan de håndterte forsinkelsene som oppsto i taktproduksjonen. Den ene tilnærmingen der neste fag i et taktområde holdes igjen til foregående fag er helt ferdig med sitt arbeid er likt togstans – justeringstiltaket fra litteraturen som er diskutert tidligere i oppgaven i forbindelse med forsinkelsesparaden i taktproduksjon. En annen tilnærmingen baserer seg på spesialløsninger for hvert enkelt tilfelle av forsinkelse der flere fag jobber i samme taktområde for å innhente taktplanen. Den tredje tilnærmingen er i denne oppgaven omtalt som 2-vognstans og er ikke tidligere omtalt i litteraturen. I Figur 19 er effekten av de tre tilnærmingene illustrert.



Figur 19 - Tilnærminger for å minimere konsekvensene av forsinkelser i taktproduksjon. (Tegnforklaring i Figur 16)

Ved å gjøre rettingsarbeidet parallelt med taktplanen, med flere fag i samme taktområde, blir forsinkelsen mindre synlig i fremdriften i prosjektet. Dette øker risikoen for forsinkelsesparaden og medfører muligheten for at forsinkelsen ikke kommer til syne før et taktområde nærmer seg ferdigstilling og skaper akutte behov for ressurser som må hentes fra

andre steder i produksjonen. For å lykkes med å rette feilene parallelt med taktplanen må det sørges for at forsinkelsen er kjent hos alle den berører i prosjektet og behandles så fort som mulig for å hindre forsinkelsesparaden som er diskutert tidligere i oppgaven.

Det kan ofte bli sett på som tøffere beslutning å revidere en taktplan enn en annen type fremdriftsplan. Det skyldes at forsinkelsene i en taktplan blir veldig synlige og påvirker alle fag fordi vognene forskyves en eller flere taktperioder. Denne oppgaven viser at dersom det er strengt nødvendig er det fordelaktig med en revidering, men at det viktigste er å gjøre forsinkelsene synlig for alle deltagere i prosjektet for å forhindre følgefeil – det vil si forsinkelsesparaden – i taktproduksjonen.

Ved mindre forsinkelser nevnte en informant bruk av 2-vognstans. Tilnærmingen gikk ut på at faget som skapte forsinkelsen måtte gjøre seg ferdig i området, og at innhenting av taktplanen måtte skje gjennom tiltak som overtid eller bemanning av neste fag. Forsinkelsen måtte innhentes så fort det lot seg gjøre for å forhindre videre konsekvenser. Denne tilnærmingen er en blanding av de to hovedtilnærmingene nevnt tidligere. I motsetning til der rettingen skjer parallelt med taktproduksjonen, er denne løsningen mer opptatt av å synliggjøre forsinkelsen for å understreke hvor viktig det er å komme fort tilbake på taktplanen igjen. Dette kan også sees på som et mildere justeringstiltak en full revidering av taktplanen – det vil si togstans. Derfor har 2-vognstans potensiale til å være en svært effektiv løsning for å minimere konsekvensene av forsinkelser i taktproduksjon og tilnærmingen bør utforskes nærmere i senere studier.

For eksempel bør senere studier ta for seg utfordringen 2-vognstans har ved at byrden av forsinkelsen – det vil si innhentingsarbeidet – ligger på det følgende faget og ikke faget som har skapt forsinkelsen. Denne oppgaven tar ikke for seg hvordan dette blir løst mellom fagene økonomisk eller ved bruk av andre intensiver. Det er interessant å se på hvilke avtaler som kan gjøres mellom fag for å gjennomføre 2-vognstans og om metoden fører til færre negative konsekvenser ved å korte ned forsinkelsesparaden.

## 5.4 Funnenes relevans og reliabilitet

Funnene som er presentert i resultatkapittelet er, som tidligere nevnt, begrenset til kun informasjonsinnhenting fra case-bedriften Consto. Det kan derfor stilles spørsmål til om disse er relevant for den norske byggebransjen eller kun for case-bedriften. Når det gjelder årsakene til at forsinkelser oppstår i taktproduksjon er funnene tidligere kjent at gjelder for byggeindustrien generelt. I forbindelse med de andre forskningsspørsmålene, for eksempel hvordan det jobbes i produksjonen og planleggingsprosessen for å forhindre forsinkelsene, er det ikke kjent om de samme verktøyene og tiltakene blir brukt av andre aktører i den norske byggebransjen. Det samme gjelder tiltakene som brukes for å minimere konsekvensene av forsinkelser.

På den andre siden, er ordlyden i oppgavens problemstilling «hvordan *kan* forsinkelser forhindres og håndteres?». Funnene fra oppgaven på tiltak og tilnærminger kan hjelpe flere aktører i den norske byggeindustrien fordi de står ovenfor de samme utfordringene – det vil si årsakene til forsinkelser i taktproduksjon – selv om de ikke bruker disse i dag. Andre aktører enn Consto kan ta i bruk andre tiltak og tilnærminger som også kan svare på oppgavens

problemstilling. For å videre øke kunnskapen om hvordan forsinkelser håndteres i taktproduksjonen vil flere case-studier på andre byggeaktører være gunstig.

Nok en begrensning oppgaven har er at resultatene fra case-studien bare er fra en totalentreprenørs perspektiv. Andre årsaker til forsinkelser, tilnærminger til å forhindre og minimere konsekvensene av forsinkelser i taktproduksjonen kunne blitt avdekket ved å innhente data fra andre perspektiver. Ved å intervju underentreprenører – det vil si fag i taktproduksjonen – kan flere syn på hva som forårsaker forsinkelser komme fram. For eksempel kan det tenkes at mer kritikk mot totalentreprenørens rolle i taktproduksjonen vil bli belyst enn i denne studien. Det er også interessant å se på hvordan fagene behersker tiltak som oppbemanning og overtid for å forhindre forsinkelser og hvilken motivasjon de har i prosjekter til å iverksette dette. Er det kun et krav fra totalentreprenøren eller opplever også fagene fordeler med å forhindre forsinkelser i taktproduksjonen?

## 6 Konklusjon

Denne oppgaven omhandler temaet takt og involvering av aktører i byggeprosjekter og ser på hvordan forsinkelser i taktproduksjon blir forhindret eller håndtert. For å utforske dette ble de fire følgende forskningsspørsmålene utformet:

1. Hva forårsaker forsinkelser i taktproduksjon?
2. Hvordan kan det jobbes proaktivt i produksjonsfasen for å forhindre forsinkelsene i forskningsspørsmål 1?
3. Hva bør gjøres i taktplanleggingsfasen for å forhindre forsinkelser i taktproduksjonen?
4. Når forsinkelsen allerede har skjedd, hva gjøres for å forhindre konsekvensene av den?

Det ble gjennomført en case-studie på byggetreprenørbedriften Consto AS med formål om å innhente informasjon for å svare på forskningsspørsmålene. Case-studien fant følgende åtte årsaker til forsinkelser i taktproduksjonen som ble presentert i resultatkapittelet:

- Forsinkede leveranser
- Logistikkforstyrrelser
- Feilproduksjon
- Feilestimering av arbeid
- Mangel på tilgjengelig arbeidskraft
- Manglende forpliktelse, kommunikasjon og nøkkelroller
- Skader på grunn av retting
- Forsinkelsesparaden i taktproduksjon

De fleste årsakene er kjente utfordringer i byggeprosjekter, men innvirkningen de har på taktproduksjonen er ikke tidligere dokumentert i litteraturen. Forsinkelser som oppstår i taktproduksjon har stor sannsynlighet for å lede til flere forsinkelser, som igjen fører til enda flere forsinkelser. Denne eskalerende rekken av forsinkende forstyrrelser har denne oppgaven navngitt *forsinkelsesparaden i taktproduksjon* (eng: *Parade of Delays in Takt Production*) og er et fenomen som bør utforskes videre i fremtidige studier. Det er svært ressurskrevende å hindre forsinkelsesparaden etter at forsinkelsene har inntruffet. Det er derfor viktig å strebe etter å forhindre mulige forsinkelser før de oppstår.

For å forhindre forsinkelser avdekket denne oppgaven at ukentlige møter, Daily Huddle og gode kvalitetssikringsrutiner kan være effektive verktøy å bruke i produksjonsfasen. Alle disse verktøyene er tidligere dokumentert å ha en positiv innvirkning på produktivitet i byggeprosjekter, men det finnes lite litteratur på hvordan de gjennomføres og fungerer i samhandling med taktproduksjon. Denne oppgaven har sett på hvordan ukentlige møter og Daily Huddle øker involveringer av alle aktørene i taktproduksjon, som igjen fører til bedre kommunikasjon og engasjement hos deltagerne, samtidig som møtestrukturere er gode arenaer for leveranse- og logistikkplanlegging. Kvalitetssikringsarbeidet i taktproduksjon er et interessant tema som bør utforskes nærmere i senere studier.

Oppgaven viser også hva som bør gjøres i taktplanleggingsfasen for å forhindre forsinkelser i utførelsesfasen. Å involvere aktørene i taktproduksjonen i taktplanleggingsprosessen er avgjørende for å sikre kommunikasjon, forpliktelse og engasjement senere i utførelsesfasen. Det er i selve planleggingsprosessen kommunikasjonen, forpliktelsen og engasjementet etableres. Et essensielt tiltak for å bedre kommunikasjon, forpliktelse og engasjement er å sørge for at alle fag i planleggingsprosessen stiller med de riktige representantene. Med dette menes det at det er de samme basene eller prosjektlederne som er med i planleggingsfasen som også er tilknyttet prosjektet i utførelsesfasen fordi kommunikasjon, forpliktelse og engasjement er vanskelig å kommunisere videre etter planleggingsfasen. I tillegg vil kontinuitet av personell mellom planlegging og -utførelsesfasen bidra til kontinuerlig læring fra prosjekt til prosjekt.

Nok et avgjørende element i planleggingsfasen av taktproduksjonen for å forhindre forsinkelser i utførelsen er å sørge for en god overlevering av produksjonsunderlaget fra prosjekterende til utførende. Møteserien 16-12-8-4-1 er utviklet av Consto for å håndtere denne overleveringen ved å gradvis la de utførende kvalitetssikre produksjonsunderlaget, samtidig som de gjør seg kjent med det i god tid før produksjonsstart. I tillegg argumenteres det for i denne oppgaven at detaljert leveranse- og logistikkplanlegging bør være en del av taktplanleggingsprosessen.

I tillegg til å se på forårsaker forsinkelser i taktproduksjon og hvordan man proaktivt kan forhindre disse, tok oppgaven for seg hvordan forsinkelser som oppstår i taktproduksjonen blir håndtert. Dersom forsinkelser oppstår i taktproduksjonen, ble det funnet tre ulike tilnærminger til å reagere på dem for å minimere de mulige konsekvensene de kunne medføre. To av disse er togstans og parallell retting som tidligere er kjent i litteraturen. Den tredje er tilnærming er 2-vognsstans, som derimot ikke er beskrevet før. Tilnærmingen har potensialet til å forhindre *forsinkelsesparaden i taktproduksjon* ved å raskt innhente forsinkelsen. Mer forskning på metoden anbefales for å kartlegge og muligens utvikle metodens effekt på å minimere konsekvenser av forsinkelser.

Denne oppgaven har kun sett på en bedrift og hvordan de jobber med takt i byggeprosjekter. Til tross for dette, anses funnene som nyttige for å utforske hvordan forsinkelser i taktproduksjon kan bli håndtert og forhindret i norske byggeprosjekter.



## 7 Forslag til videre forskning

Denne masteroppgaven har begrenset seg til data fra en norsk case-bedrift og ble begrenset i tid til våren 2021. Gjennom arbeidet med oppgaven har det kommet fram flere funn som bør utforskes videre for å styrke kunnskapen om oppgavens tema – takt og involvering av aktører i byggeprosjekter. Som tidligere nevnt, baserte studien seg bare på kvalitativ data og tok kun for seg å identifisere hvilke tilnærminger og forklare hvordan de brukes i praksis for å forhindre og håndtere forsinkelser i taktproduksjon. Videre forskning bør ta for seg kvantitative forskningsdesign for å måle effekten av funnene i denne oppgaven. Spesielt bør effekten forsinkelsesparaden har på taktproduksjonen utforskes – for eksempel ved bruk av case-prosjekter. Ved bruk av case-prosjekter kan også effekten av ukentlige møter og Daily Huddle i taktproduksjonen måles.

I tillegg bør videre forskning se nærmere på overgangen mellom prosjekteringsfase og taktproduksjonen. Møteserien 16-12-8-4-1 ble i denne oppgaven funnet som et effektivt virkemiddel, som bør utforskes videre for å avdekke potensialet møteserien har for å forhindre forsinkelser i taktproduksjonen. Som nevnt i oppgavens diskusjonsdel, kan underentreprenørenes perspektiv avdekke flere problemer og løsninger knyttet til temaet. Spesielt i sammenheng med Møteserien 16-12-8-4-1 vil det være interessant å innhente data fra underentreprenørene for å si noe om hvordan tiltaket hjelper taktproduksjonen.

Også tiltak for å minimere konsekvensene av forsinkelser i taktproduksjon bør studeres nærmere. Til tross for at litteraturen allerede har kunnskap om justeringsmekanismer og tiltak knyttet til å reagere på forsinkelser i taktproduksjonen, er det få av disse som kan forhindre forsinkelsesparaden fordi de belager seg på å revidere og justere taktplanen – og dermed lage kontrollerte forsinkelser. I denne oppgaven ble 2-vognsstans funnet til å ha potensiale til å innhente forsinkelsen i taktproduksjonen og derfor forhindre forsinkelsesparaden. Tilnærmingen bør studeres nærmere, for eksempel ved å besvare følgende spørsmål:

- Er denne tilnærmingen brukt av andre aktører i byggebransjen?
- Fungerer tilnærmingen for å forhindre forsinkelsesparaden?
- Hvordan bør faget som ikke skaper forsinkelsen, men må innhente den, motiveres og kompenseres?
- Hvordan motiveres fag til å forhindre forsinkelser ved bruk av 2-vognsstans?



## Referanser

- Alhava, O., Rinne, V., Laine, E., and Koskela, L. (2019). "Can a Takt Plan Ever Survive Beyond the First Contact With the Trades On-Site?" Dublin, Ireland, 453–464.
- Andersen, S. S. (2013). *Casestudier: forskningsstrategi, generalisering og forklaring*. Fagbokforlaget, Bergen.
- Arbulu, R., Koerckel, A., and Espana, F. (2005). "Linking Production-Level Workflow With Materials Supply." *13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Sydney, Australia, 199–206.
- Arksey, H., and O'Malley, L. (2005). "Scoping studies: towards a methodological framework." *International Journal of Social Research Methodology*, Routledge, 8(1), 19–32.
- Ballard, G. (2000). "The Last Planner System of Production Control." The University of Birmingham, UK.
- Ballard, G. (2009). "Production Control Principles." *Design Forum*.
- Binninger, M., Dlouhy, J., and Haghsheno, S. (2017a). "Technical Takt Planning and Takt Control in Construction." *25th Ann. Conf. of the IGLC*, Heraklion, Greece, 605–612.
- Binninger, M., Dlouhy, J., Steuer, D., and Haghsheno, S. (2017b). "Adjustment Mechanisms for Demandoriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control." *25th Ann. Conf. of the IGLC*, Heraklion, Greece, 613–620.
- Consto AS. (n.d.). "Nye Hammerfest Sykehus." *Consto*, <<https://consto.no/prosjekter/nye-hammerfest-sykehus/>>.
- Deschamps, R. R., Esteves, R. R., Rossetto, R., and Tomazi, F. (2015). "THE IMPACT OF VARIABILITY IN WORKFLOW." 10.
- Drevland, F. O. (2019). "Optimising Construction Projects as Value Delivery Systems - Expanding the theoretical foundation." Doctoral dissertation, NTNU, Trondheim.
- Frandsen, A., Berghede, K., and Tommelein, I. D. (2013). "Takt Time Planning for Construction of Exterior Cladding." *21th Ann. Conf. of the IGLC*, Fortaleza, Brazil, 527–536.
- Frandsen, A., Berghede, K., and Tommelein, I. D. (2014). "Takt-Time Planning and the Last Planner." *22nd Ann. Conf. of the IGLC*, Oslo, Norway, 571–580.
- Frandsen, A. G., Seppänen, O., and Tommelein, I. D. (2015). "Comparison Between Location Based Management and Takt Time Planning." *23rd Ann. Conf. of the IGLC*, Perth, Australia, 3–12.
- Google Scholar. (n.d.). "About Google Scholar." <<https://scholar.google.com/intl/en/scholar/about.html>> (Oct. 5, 2020).
- Haghsheno, S., Binninger, M., Dlouhy, J., and Sterlike, S. (2016). "History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control." *24th Ann. Conf. of the IGLC*, Boston, Massachusetts, USA, 53–62.
- Hamzeh, F., Ballard, G., and Tommelein, I. (2008). "Improving construction work flow—The connective role of look ahead planning." *16th Ann. Conf. of the IGLC*, Manchester UK.
- Haugen, C. G., Lædre, O., and Aslesen, S. (2020). "Takt Performance Indicators." *28th Ann. Conf. of the IGLC*, Berkeley, California, USA, 457–468.
- Heinonen, A., and Seppänen, O. (2016). "TAKT TIME PLANNING IN CRUISE SHIP CABIN REFURBISHMENT: LESSONS FOR LEAN CONSTRUCTION."
- Hopp, W. J., and Spearman, M. L. (2011). *Factory Physics: Third Edition*. Waveland Press.
- Howell, G. A. (1999). "What is Lean Construction - 1999." *7th Ann. Conf. of the IGLC*, California, USA.

- IGLC. (n.d.). "IGLC.net - About." <<http://iglc.net/Home/About>> (Oct. 5, 2020).
- Jesson, J., Matheson, L., and Lacey, F. M. (2011). *Doing Your Literature Review: Traditional and Systematic Techniques*. SAGE.
- Kalsaas, B. T., Bølviken, T., Klakegg, O. J., Bonnier, K., Seppänen, O., Aslesen, S., Klethagen, P., Grindheim, I., Læknes, N., Knutson, Å., Formoso, C. T., Sommer, L., Koskela, L., Isatto, E. L., Skinnarland, S., Ose, A. O., Torp, O., Hannås, G., Sandberg, E., Stake, S., Olsson, N., Bygballe, L. E., and Swärd, A. (2017). *Lean Construction*. Fagbokforlaget, Bergen.
- Kenley, R., and Seppänen, O. (2010). "Location-Based Management of Construction Projects: Part of a New Typology for Project Scheduling Methodologies." *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC)*, Austin, TX, USA.
- Koskela, L. (1992). "Application of the New Production Philosophy to Construction."
- Koskela, L. (2000). "An exploration towards a production theory and its application to construction." Doctoral dissertation, Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- Koskela, L. (2004). "Making-Do — the Eighth Category of Waste." *12th Ann. Conf. of the IGLC*, Helsingor, Denmark.
- Lean Enterprise Institute. (2003). *Lean Lexicon: A Graphical Glossary for Lean Thinkers*. Lean Enterprise Institute.
- Lehtovaara, J., Heinonen, A., Lavikka, R., Ronkainen, M., Kujansuu, P., Ruohomäki, A., Örmä, M., Seppänen, O., and Peltokorpi, A. (2020a). "Takt Maturity Model: From Individual Successes Towards Systemic Change in Finland." *28th Ann. Conf. of the IGLC*, Berkeley, California, USA, 433–444.
- Lehtovaara, J., Seppänen, O., Peltokorpi, A., Kujansuu, P., and Grönvall, M. (2020b). "How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model." *Construction Management and Economics*, Routledge, 73–95.
- Liker, J. K., and Hoseus, M. (2008). *Toyota culture : the heart and soul of the Toyota way*. McGraw-Hill, New York.
- Monden, Y. (2011). *Toyota Production System : An Integrated Approach to Just-In-Time, 4th Edition*. Productivity Press.
- Moore, R. (2007). "Selecting The Right Manufacturing Improvement Tools. - What tool? When?" *Selecting the Right Manufacturing Improvement Tools*, R. Moore, ed., Butterworth-Heinemann, Burlington, 1–416.
- Müge, T., Peltokorpi, A., Seppänen, O., Viitanen, A., and Lehtovaara, J. (2019). "COMBINING TAKT PRODUCTION WITH INDUSTRIALIZED LOGISTICS IN CONSTRUCTION." *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland.
- NTNU Bibliotek. (2017). "Kildekritikk av artikler: T-O-N-E prinsippet." <<https://www.youtube.com/watch?v=rs5PFX5SIHc&feature=youtu.be>> (Oct. 6, 2020).
- Olsson, N. (2011). *Praktisk rapportskrivning*. Tapir akademisk, Trondheim.
- Paez, O., Salem, S., Solomon, J., and Genaidy, A. (2005). "Moving from lean manufacturing to lean construction: Toward a common sociotechnological framework." *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 15(2), 233–245.
- Robson, C., and McCartan, K. (2016). *Real World Research*. Wiley, Hoboken.
- Røtvold, P. B. B. (2017). "Implementering av taktplanlegging i byggeprosjekt for første gang - Casestudie av prosjekt Strandgata 41." Master thesis., NTNU.
- Samset, K. (2017). *Prosjekt i tidligfasen*. Fagbokforlaget, Trondheim.
- Schöttle, A., and Nesensohn, C. (2019). "The Beauty of a Phase-Overlapping Last Planner System® With Incorporated Takt." *27th Ann. Conf. of the IGLC*, Dublin, Ireland, 441–450.

- Seppänen, O. (2009). "Empirical research on the success of production control in building construction projects." Doctoral dissertation, Aalto University, Finland.
- Seppänen, O., Ballard, G., and Pesonen, S. (2010). "The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System." *18th Ann. Conf. of the IGLC*, Haifa, Israel, 467–476.
- Seppänen, O., Modrich, R.-U., and Ballard, G. (2015). "Integration of Last Planner System and Location-Based Management System." *23rd Ann. Conf. of the IGLC*, Perth, Australia, 123–132.
- Talebi, S., Koskela, L., Shelbourn, M., and Tzortzopoulos, P. (2016). "CRITICAL REVIEW OF TOLERANCE MANAGEMENT IN CONSTRUCTION." 11.
- Tommelein, I. D., Howell, H. G. A., and Riley, D. (1999). "Parade Game: Impact of Work Flow Variability On Succeeding Trade Performance." *Journal of Construction Engineering and Management*.
- Vatne, M. E., and Drevland, F. (2016). "PRACTICAL BENEFITS OF USING TAKT TIME PLANNING: A CASE STUDY." *Production Planning and Control*, 10.
- VIKO. (n.d.). "Finne kilder - Wiki - innsida.ntnu.no." <<https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder>> (Oct. 1, 2020).
- Wohlin, C. (2014). "Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering." *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering - EASE '14*, ACM Press, London, England, United Kingdom, 1–10.
- Womack, J. P., and Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press, New York.
- Womack, J. P., Jones, D. T., and Roos, D. (2007). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production-- Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. Simon and Schuster.
- Yin, R. K. (2014). *Case study research: design and methods*. SAGE, Los Angeles.
- Ying, F., and Tookey, J. (2017). "Key Performance Indicator for Managing Construction Logistics Performance." *25th Ann. Conf. of the IGLC*, Heraklion, Greece, 869–876.



# **Vedlegg**

A: Intervjuguide

B: Involverende Bygging i Consto

C: Preventing the Parade of Delays in Takt Production – Konferanseartikkel IGLC





## **Vedlegg A: Intervjuguide**

# Intervjuguide – Masteroppgave: Involverende planlegging og taktproduksjon – Terje Ø. Dahlberg

## Formelt

Anonymitet og taushetsplikt

Lydopptak og notater

Dine (intervjupersons) erfaringer som er interessante

## Introduksjon

Dette intervjuet gjøres i sammenheng med min masteroppgave ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU. Temaet for oppgaven er bruk av involverende planlegging i taktplanlegging og -produksjon.

I denne masteroppgaven prøver jeg å svare på hvordan involverende planlegging kan opprettholde taktproduksjonen i et byggeprosjekt. Jeg ønsker å se på hvilke utfordringer som finnes for å opprettholde takten i produksjonsfasen og hvordan involverende planlegging kan bidra til å løse disse.

## 0. Bakgrunn

- 0.1. Navn, bedrift (trenger ikke spørre)
- 0.2. Rolle/stilling
- 0.3. Utdanning
- 0.4. Tidligere arbeidserfaringer. Hvilken type prosjekter?

## 1. Hva er involverende planlegging?

## 2. Hva er taktplanlegging?

## 3. Hvordan har du/dere brukt taktplanlegging?

- 3.1. Hvordan gjorde dere taktplanleggingen?
- 3.2. Hvordan jobbet dere i taktproduksjonen?
- 3.3. Hvilke fordeler har metoden?
- 3.4. Hvilke utfordringer er det med taktplanlegging og -produksjon?
  - 3.4.1. Hva kan skape forsinkelser i en taktplan?
  - 3.4.2. Hvordan påvirker forsinkelsene produksjonen?
  - 3.4.3. Hvordan oppdager dere avvikene?
  - 3.4.4. Klarer dere å oppdage de før de blir et problem for driften?

- 3.4.5. Har du erfaring med feilestimering eller feil antagelser i forberedelsene til taktplanen som fører til forsinkelser i taktproduksjonen?
- 3.4.6. Hvor utfordrende er det å få til en god taktplan?
- 3.4.7. Hvor viktig er taktplanen?
- 3.4.8. Hvordan påvirker feilproduksjon og feil ved overlevering til neste fag taktproduksjonen?
- 3.4.8.1. Rotårsak: Manglende standardisering, dårlig utførelse, manglende bestep praksis, ufullstendig produksjonsunderlag, ineffektive standarder på toleransekrav, manglende utdanning (kulturforskjell?).
- 3.4.9. Hvordan påvirker forsinkede leveransene inn til byggeplassen taktproduksjonen?
- 3.4.10. Er manglende arbeidskraft en utfordring for å opprettholde taktproduksjonen?
- 3.4.11. Sykdom.
- 3.4.12. Prioritering.
- 3.4.13. Er det en utfordring å håndtere en endring fra kunden i taktproduksjonen?
- 3.4.14. Hvordan opplever du forpliktelsen til taktplanen hos deltagerne i taktproduksjonen?

#### **4. Hvilken erfaring har du/dere med bruk av involverende planlegging?**

- 4.1. (Om IP er nevnt tidligere) – Har dere benyttet involverende planlegging før dere brukte taktproduksjon.
- 4.2. Hvordan har dere brukt involvering av fagene i planlegging?
- 4.3. Hvilke fordeler opplever dere med bruk av involvering?
- 4.4. Er det noen utfordringer knyttet til involvering?
- 4.5. Hvordan har dere brukt involvering av fagene i planlegging i taktproduksjonen? (konstanter at det dreier seg om produksjonsfasen)
- 4.6. **Hvordan kan involverende planlegging bidra til å hindre at utfordringene vi har pratet om forsinker taktproduksjonen?**
- 4.6.1. Feilestimering eller feil antagelser i forberedelsene til taktplanen.
- 4.6.2. Feilproduksjon og feil ved overlevering til neste fag taktproduksjonen.

4.6.3.Forsinkede leveransene inn til byggeplassen.

4.6.4.Manglende arbeidskraft.

4.6.5.Endring fra kunde.

4.6.6.Manglende forpliktelsen til taktplanen.

4.6.7.Eventuelt nye utfordringer

## **Avslutning**

Noe å legge til?

## **Vedlegg B: Involverende Bygging i Consto**

-CONSTO-

# INVOLVERENDE BYGGING

Arbeidsmetode for effektiv økonomi- og ressursstyring i byggeprosjekter

*-VI HOLDER DET VI LOVER*

Involverende Bygging er  
tett **samhandling, involvering,**  
fokus på **kontinuerlig forbedring**  
og **deling av informasjon** mellom  
alle partene i byggeprosessen.

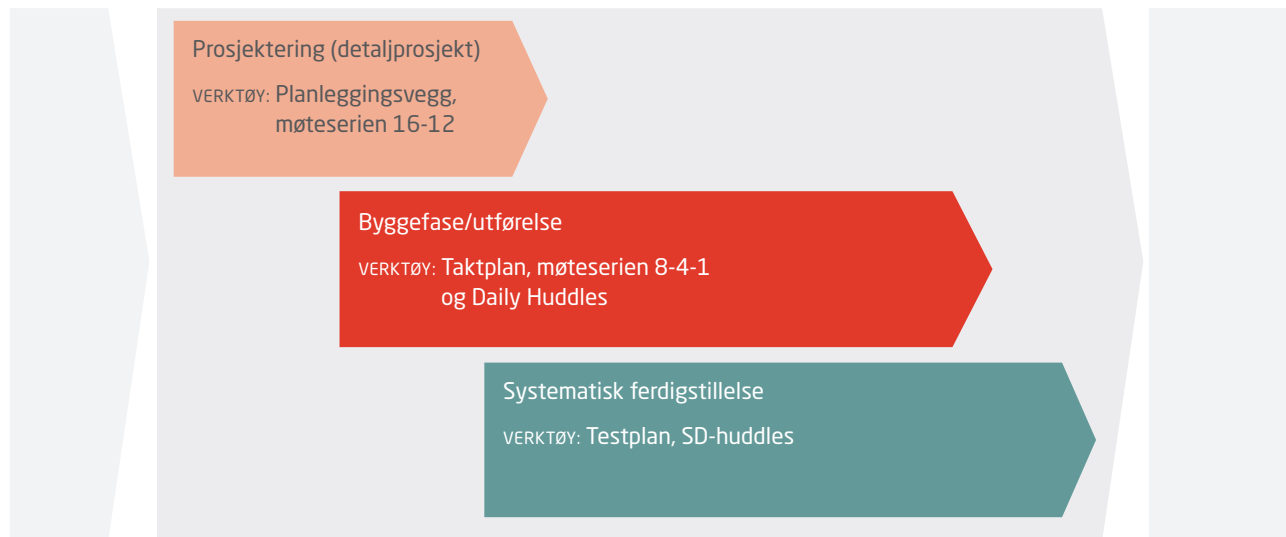
Consto bruker Involverende Bygging for planlegging og gjennomføring av prosjekter. Metoden er tuftet på LEAN-filosofien.

Kort oppsummert gir Involverende Bygging trimmet økonomi- og ressursstyring i byggeprosjekter.

Tidligfase

## Gjennomføringsfase

Driftsfase



Metoden brukes i gjennomføringsfasen. Fra side 6 til 12 beskrives de ulike verktøyene i Involverende Bygging.





*Involverende bygging ble brukt for første gang som prosjektstyringsmetode ved byggingen av Universitetssykehuset Nord-Norges A-fløy.*

# Hvordan kan Involverende Bygging hjelpe deres prosjekt?

Etter at Consto etablerte Involverende Bygging som arbeidsmetodikk, har vi sett:

- ▶ Ryddigere arbeidsplasser
- ▶ Bedre logistikk
- ▶ Presise leveranser
- ▶ Bedre framdrift
- ▶ Styrket fokus på HMS
- ▶ Bedre kvalitet
- ▶ Færre byggefeil
- ▶ Bygg levert med riktig kvalitet til rett tid



Daily Huddles, daglige morgenmøter der alle med lederoppgaver møtes og koordinerer dagens aktiviteter. Her fra Workinntoppen i Tromsø, et av Norges største boligprosjekter.

# Møteserien – et viktig verktøy

Et viktig verktøy innenfor Involverende Bygging er møteserien. Hensikten er å knytte alle faggruppene og prosessene sammen. Målet er at alt grunnlag, logistikk og avklaringer skal være på plass før man går i gang med en aktivitet.

## Vi kaller møteserien for 16 - 12 - 8 - 4 - 1 og Daily Huddles.

**Hva oppnår vi?** Vi sørger for at mengden uforutsette faktorer i byggeprosessen blir eliminert eller redusert. Dette gir en større involvering mellom prosjektering og utførelse.

Møteserien følger et fast mønster, som kan prosjektilpasses. Første møte avvikles 16 uker før en aktivitet igangsettes (for eksempel oppføring av råbygget, eller innredning). Deretter avvikles regelmessige møter frem mot starten på en aktivitet, med intervaller på 16 - 12 og 8 - 4 - 1 uker før start.

### 16- og 12-møtene:

Prosjektering kontrollerer og forbereder produksjonen.

### 8- 4- 1-møtene:

Produksjon overtar og sjekker om prosjektering er ferdig. Produksjon har fokus på «De syv forutsetninger».

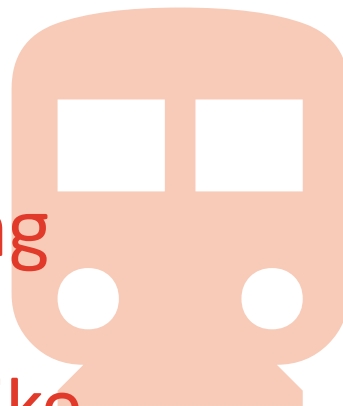
### Daily huddles

Daglige morgenmøter på inntil 10 minutter der alle fagområdene er involverte. Daily huddles følger en fast struktur; HMS, ryddighet, logistikk, fremdrift og aksjonspunkter.

## De syv forutsetninger:

- 1. Forutgående arbeid:** Alle forutgående arbeid skal være avsluttet
- 2. Informasjon:** Nødvendig informasjon må være tilgjengelig
- 3. Mannskap:** Mannskap med riktig kompetanse må være tilgjengelig
- 4. Materialer:** Materialer må være på plass
- 5. Utstyr:** Utstyr skal være tilgjengelig
- 6. Arbeidsplassen:** Arbeidsplassen skal være tilgjengelig og ryddet
- 7. Ytre forhold:** Sjekk værvarselet og gjør tiltak. Sørg for at alle godkjenninger er på plass

# Involverende Bygging handler om å finne takten mellom de ulike fagene som er involvert i et byggeprosjekt.



## Derfor bruker vi "tog" og "vogn" som begreper innenfor Involverende Bygging.

Ved å finne takten mellom tømrerne, elektrikerne, rørleggerne, malerne og de øvrige fagarbeiderne, går prosjektet på skinner og det blir levert på kost og tid.

### **Takten planlegges før man starter byggingen**

Takten mellom de involverte finner vi ved hjelp av *taktplanlegging* – som alle underentreprenører deltar i.

Enkelt forklart planlegger vi i fellesskap når tid hver enkelt aktør skal inn og utføre sin aktivitet/leveranse. Slik sikrer vi flyt i arbeidsprosessen. Byggherren kan også være involvert i taktplanleggingen.

Taktplanleggingen utføres fysisk på en stor vegg ved hjelp av lappeteknikk (se s. 11).

# Åtte steg med taktplanlegging

## 1 Etablere kontrollområde

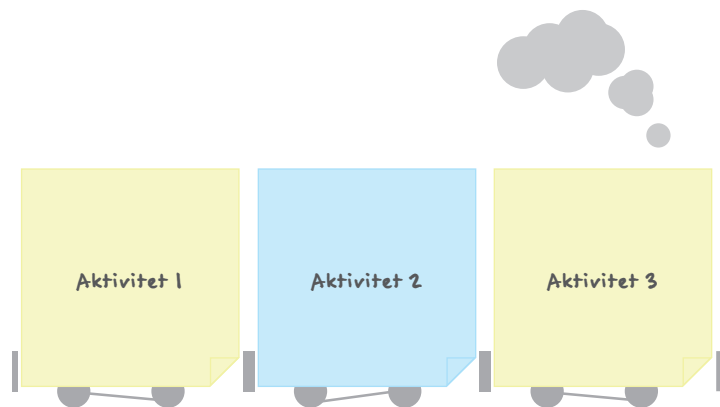
I involverende fellesskap etablerer vi alle kontrollområder. Foran oss har vi plan-tegningene over bygget. Rommene i bygget deles inn i soner som fagarbeiderne skal jobbe i. Det er disse sonene vi kaller for kontrollområde. Så langt det er mulig skal det bare være ett fag om gangen i hvert kontrollområde.



## 2 Finne arbeidsrekkefølge (vogner)

Alle de involverte underentreprenørene lager en liste med rekkefølge over sine aktiviteter. Dette gjør de ved at de skriver hver aktivitet ned på en Post-it lapp. Hver aktivitet - Post-it lapp - er en vogn.

I utgangspunktet inneholder en vogn én aktivitet, men hvis det er hensiktsmessig, kan en vogn fylles med flere aktiviteter.



### 3 Tog formes

Toget settes sammen av vognene, det vil si aktivitetene. Når dette er gjort, er hele byggeprosessen planlagt i rekkefølge; hvem av underentreprenørene gjør hva, hvor og når tid. Det er ett tog per kontrollområde.

Denne prosessen gjøres av alle underentreprenører i samarbeid. Foran oss har vi en stor vegg der alle Post-it-lappene (som hver og en utgjør en vogn) henges opp på planleggingsveggen.

Ingen vogner kan kjøre forbi hverandre, med andre ord er rekkefølgen og takten bestemt mellom de ulike aktivitetene. Dersom en enkelt vogn stopper opp, stopper hele toget opp. Involverende Bygging synliggjør denne risikoen på forhånd og hindrer at dette skjer.

### 4 Kalkulerer arbeidsmengde

Nå er toget formet (rekkefølgen på prosessene). Neste steg er at alle aktørene kalkulerer hvor mange timer de trenger for hver aktivitet. Dette gjøres på egne lister. Det er nå rekkefølgen blir endelig konkretisert.

### 5 Toglengden bestemmes

Dette gjøres i fellesskap. Når toglengden er bestemt, er også hele byggetiden bestemt.

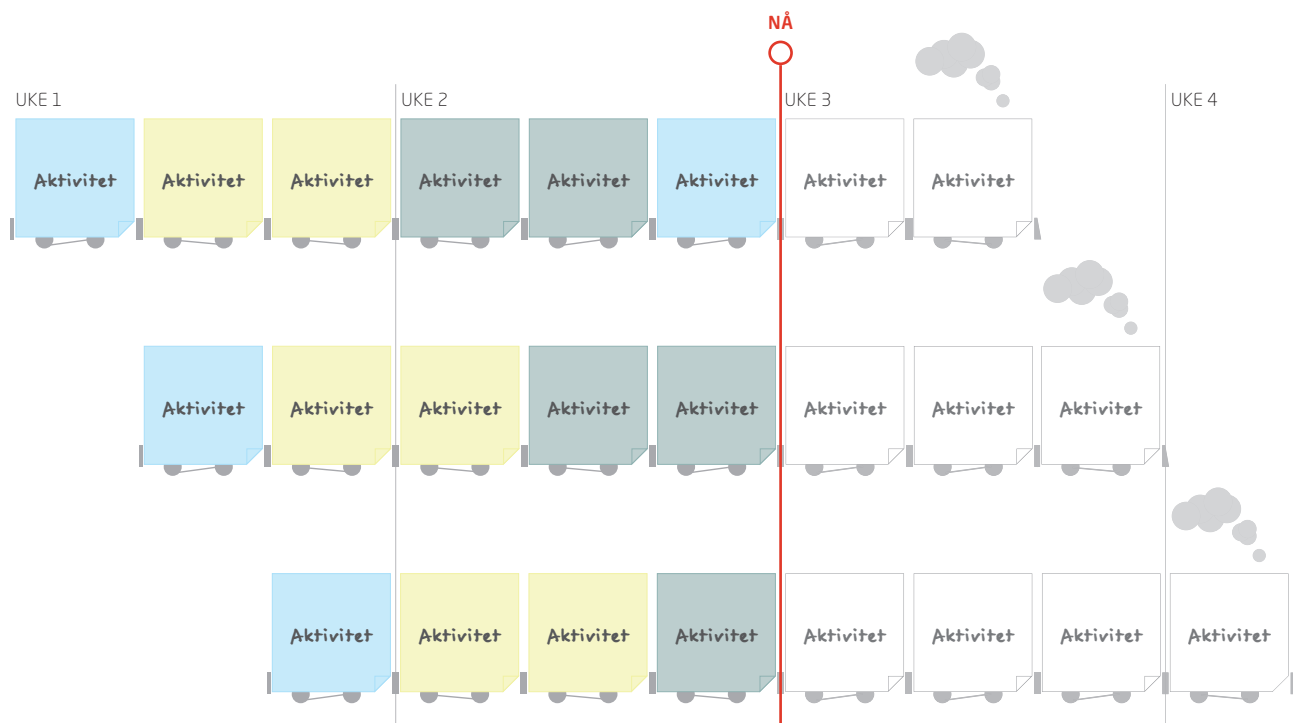
### 6 Kontrollområder kontrolleres og eventuelt justeres

I fellesskap kontrolleres og kvalitetssikres endelig størrelse på kontrollområdene.



*Alle de involverte fagene deltar under taktplanleggingen. Her planlegges takten for renoveringen av Grand Hotel i Tromsø, på planleggingsveggen.*





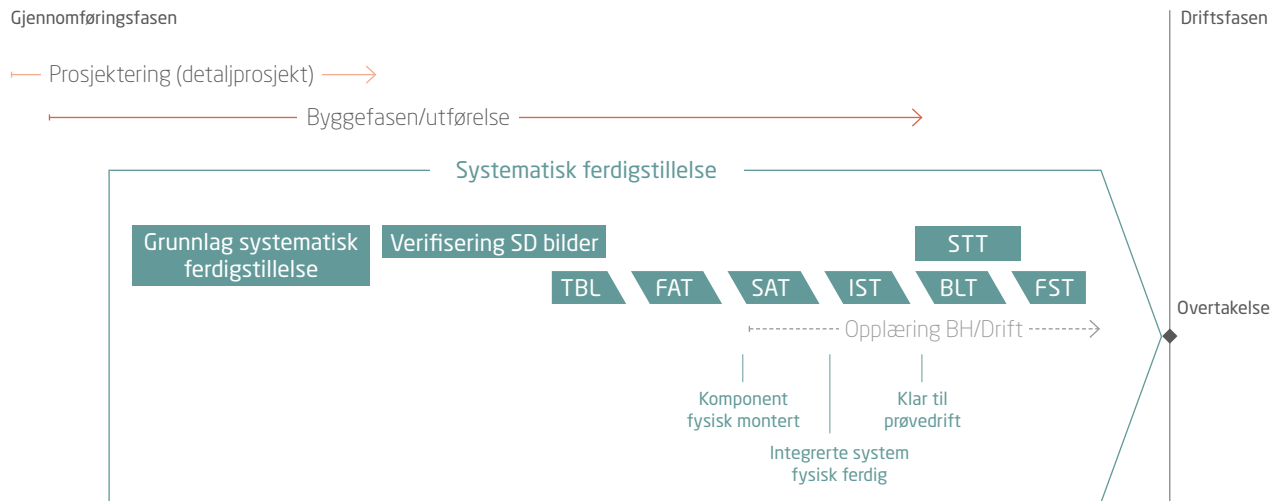
## 7 Byggestrategi utformes

Her besluttes det logiske rekkefølger og kompleksitet hensyntas.

Endelige tog etableres.

## 8 Taktplan etableres

Taktplanen er en visualisering av hele prosessen vi har vært gjennom. Denne gir en god oversikt for alle involverte i prosjektet og fungerer som styringsverktøy for framdrift, leveranser, bemanning osv. gjennom hele prosjektet.



# Systematisk ferdigstillelse

Systematisk ferdigstillelse i Consto er en prosess for systematisk og gjentakende testing av tekniske system i alle faser av prosjektet.

Teknologisk utvikling gir mulighet til integrering av kompliserte tekniske anlegg i nye bygg. I et ferdigstilt bygg skal tekniske anlegg i stor grad kommunisere og virke sammen med hverandre.

Funksjonskrav og ytelser prosjekteres tidlig, og danner grunnlag for en detaljert testplan for Factory Acceptance Test (FAT), Tabletest (TBL), Site Acceptance Test (SAT), Integrerte SystemTester (IST), Belastningstester (BLT) og stabilitetstester (STT). Avsluttende fullskalatester (FST) samkjøres med byggherrens behov for virksomhetstester. For å sikre god Involverende Bygging samkjøres testplanen med de øvrige overordnede planene i prosjektet.

Byggherren involveres med opplæring i testfasen, og Consto kan også tilby systematisk prøvedrift etter overlevering om ønskelig.

# Consto betyr å stå sammen

Consto er et av Norges ledende entreprenørkonsern med over 900 ansatte i Norge og Sverige. Konsernet strekker seg fra Svalbard i nord til Kristiansand i sør.

Constos bedriftskultur er tuftet på ubyråkratiske og korte beslutningsveier. Vi legger vekt på å opptre ærlig, aktsomt, uavhengig og etterrettelig. Vi følger våre kunder fra idé til ferdigstillelse av det gode prosjektet som svarer til kundens behov.

Vellykket prosjektutvikling er en forutsetning for at vi skal lykkes med dette. Involverende Bygging i Consto gir forutsigbarhet og godt samarbeid i våre prosjekter.

Slik søker vi å etterleve vår visjon:

***- Vi holder det vi lover***



Vil du vite mer?

[consto.no](https://consto.no)

-CONSTO



**Vedlegg C: Preventing the Parade of Delays in Takt  
Production – Konferanseartikkel IGLC**

# PREVENTING THE PARADE OF DELAYS IN TAKT PRODUCTION

Terje Øvergaard Dahlberg<sup>1</sup> and Frode Drevland<sup>2</sup>

## ABSTRACT

In recent years, takt has become an increasingly more common method to structure work in construction projects. Because of the tight coupling of activities in takt, ensuring that activities are done on time is crucial. The literature stresses having good takt plans and discusses how to react to delays in the takt production. However, there exists little literature about how site management can work proactively during takt execution to prevent delays.

This paper presents a case study of Consto – a major construction company in Norway – and their experience working proactively to prevent takt production delays. The paper identifies several causes for delays experienced in the company and several approaches used in the case company to prevent them.

We found that if delays were not prevented, they tended to propagate and compound through the production system, leading to a parade of delays. Furthermore, working proactively to prevent delays is contingent on having a high degree of buy-in and commitment from all trades participating in the takt. A key to achieving this was to involve all the trades in the takt planning process actively.

## KEYWORDS

Lean Construction, Takt, production planning and control

## INTRODUCTION

In recent years, takt has become an increasingly common method in construction projects. Takt is a method to structure work on site (Frandsen et al. 2013). The method entails dividing the building into takt areas with approximately the same amount of work and then let a trade work undisturbed by others in each area. All trades are given the same amount of time in all areas – the takt time – before they hand over the area to the following trade. The implementation of takt planning in construction is often visualized as a train with connected cars moving through the takt areas (Haghsheno et al. 2016; Haugen et al. 2020). The cars contain a production unit – e.g. a trade – working in the takt area undisturbed by other participants. Takt relies on a close coupling between the trades. Time buffers between the trades are typically minimized. It is, therefore, crucial for a trade to finish their area in time to not cause further delays for the following trades.

---

<sup>1</sup> M.Sc. student, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway, +47 924 39 786, [terjedahlb@gmail.com](mailto:terjedahlb@gmail.com), [orcid.org/0000-0002-1144-9036](https://orcid.org/0000-0002-1144-9036)

<sup>2</sup> Associate Professor, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway, +47 920 64 262, [frode.drevland@ntnu.no](mailto:frode.drevland@ntnu.no), [orcid.org/0000-0002-4596-1564](https://orcid.org/0000-0002-4596-1564)



Tommelein et al. (1999) present the Parade of Trades game to illustrate the impact workflow variability has on trades at construction sites. The trades are sequentially dependent. Thus, an unreliable workflow will result in work stations – i.e. train cars in takt – being unable to realize their full production capacity and therefore lead to waste. As we show in this paper, not properly ensuring a reliable flow in takt production will result in a parade of delays – as in Location-Based Management System (LBMS) is referred to as cascading delays (Seppänen 2009).

The literature underlines the importance of the takt planning process to make a robust takt plan to prevent production delays (Frandsen et al. 2014). However, Haghsheno et al. (2016) claim that the takt plan is not a fixed document, but a plan developed throughout the project. Binninger et al. (2017) suggest adjustment mechanisms to deal with the disruption in the takt plan's execution. Common for all their suggested adjustment mechanisms is that they are implemented after a delay already has occurred in the plan. There is a dearth of information in the literature about how delays can be prevented, after the takt plan is made.

The purpose of this paper is to look at how managers on site can prevent delays proactively in executing the takt. To do so, we present a case study of a major construction company in Norway, Consto. The paper starts by presenting the theoretical background for the paper. After that, we outline the methodology for the case study. In the result section, we present causes for delays in takt identified in the case study and the different approaches used in the case company to avoid these delays. The discussion section considers the overall implications of our findings. Finally, we present the paper's conclusion and suggest further work.

## **THEORETICAL BACKGROUND**

There are various approaches to takt production. However, according to Frandsen et al. (2013), all takt planning procedures have in common that they evolve a rough production plan into an increasingly detailed and finalized production schedule throughout the iterations. The literature refers to two major approaches – *takt time planning* (TTP) and *takt planning and takt control* (TPTC) (Lehtovaara et al. 2020). The two approaches have much in common. They differ in how takt areas are defined and the degree of trade involvement in the planning process. TTP areas are formulated by finding the smallest repetitive sections of the operation, while TPTC areas are formulated by finding similar work densities. TTP emphasizes trade participation in the overall decision-making phase, while TPTC prioritizes the client's desires as a key planning criterion and prefers predetermined and streamlined control behaviour.

In TPTC, the takt production is controlled through daily takt meetings (Haghsheno et al. 2016). The frequent handovers in the production allow accurate and short-cycled control of individual work; deviations from the plan will disturb the takt and be visible at the handover. This fact makes it possible to react to the disruption at an early stage. However, not all changes to the plan are deviations. A takt plan is not a fixed schedule but rather an execution plan evolving throughout the project. Binninger et al. (2017) propose adjustment mechanisms to absorb disruptions or changes in framework conditions. The long-term goal is to reduce the need for adjustments by continuous learning and better predictions in the takt planning.

One of (Binninger et al. 2017)'s adjustment mechanisms is train stoppage. Train stoppage means that every car stops their work until the reason for the delay is dealt with.

This mechanism follows the Jidoka principle from Toyota Production System, also called autonomation (Womack and Jones 2003).

The literature suggests that takt can be combined with the use of the Last Planner System to improve production control (Binninger et al. 2017; Frandson et al. 2014; Kalsaas et al. 2015; Schöttle and Nesensohn 2019; Seppänen et al. 2010). The Last Planner System (LPS) is a staple of production planning and control within Lean Construction. LPS increases plan reliability by identifying what work *should* be done and ensures that it *can* and *will* be done (Ballard 2000). Schöttle and Nesensohn (2019) stress using LPS in all phases of construction to achieve production flow. They argue that it is critical to design a production system that spans from design till handover to the client for a project to succeed.

An important mechanism of LPS is that the people doing the work are involved in planning the work to ensure that plans are feasible in production. Another mechanism is the lookahead process. It makes upcoming work ready for production by analyzing constraints and removing them. Additionally, the system aims to match the workload and capacity within the production system.

Related to takt, Location Based Manager System (LBMS) is another method to structure work on site by dividing the building into work areas (Frandson et al. 2015). In contradiction to takt, LBMS allows trades to keep a steady crew size in production by adjusting the time used in each area to match the labor. A control mechanism in LBMS is to track production in every area and compare it with the planned production using flowline diagrams. By assuming that the current production continues, LBMS forecasts if the area will be finished in time or if measures are needed to increase productivity. Also, compared to takt, LBMS uses more time buffers to reduce the risk of deviations and to prevent cascading delays in production.

According to Seppänen (Seppänen 2009), cascading delays are chains of dependent problems that occur in production. Cascading delays are caused by resource delays, working out-of-sequence, and space congestion due to several trades working in the same areas. In LBMS, cascading delays affect the workflow on site. However, does it not tend to delay the overall schedule of the project due to buffers implemented.

Seppänen et al. (2010) proposed that cascading delay chains should decrease by combining LBMS with LPS. They found that LPS mechanisms as weekly plans and lookahead schedules complemented LBMS's control mechanisms by giving early warnings of potential, upcoming disruption to the production.

Regarding dealing with delays in takt, the literature mainly describes mechanisms that are retroactive. One notable exception is the use of LPS. The literature suggests LPS can complement takt production with proactive control mechanisms (Frandson et al., 2014). However, while the literature on LBMS describes the benefits of mechanisms such as weekly meetings and lookahead planning, the takt literature contains few details on how the LPS proactively helps to maintain production in takt. Nor does the literature consider cascading delay chains in takt and how they affect the takt production.

## METHODOLOGY

This paper is based on a case study of the Norwegian contractor Consto. The Consto group consists of 15 regional companies and operates nationwide. Their first experience with takt was building the A-wing at the University Hospital of North Norway in Tromsø – a complex project that started in 2015 and finished in 2018. Since 2015, they have used

takt in several projects across the country, and they have developed their own strategy and procedures to plan and execute takt production.

To investigate Consto's practices and experiences, we interviewed seven informants with key roles, such as project managers, site superintendents, and foremen. Consto suggested informants with experience using takt. The informants came from different companies under the Consto umbrella. They had between them experience from ten unique project organizations using takt on a hospital, an airport project, and several apartment buildings and schools. All project examples used design-build contracts, with Consto responsible for the design phase as well as execution. In some of the projects, all the trades were sub-contracted. However, in most projects, Consto had their own trades crews for either carpentering or concrete or both. We used semi-structured interviews lasting between 45 minutes and two hours. These contained questions to reveal challenges in takt production and how they work to overcome, prevent, and learn from them.

We analyzed the interviews using a thematic coding approach per Robson and McCartan (2016). All interviews were transcribed, and the informants' statements were tagged with codes that identified what topic or theme. Some of the codes were predefined based on preliminary studies; however, the majority rose from the gathered data. After that, we grouped related codes into major themes before we placed all the themes into two main categories: causes for delays and elements for preventing these delays

Also, we did a limited document analysis on internal brochures and presentations on the topic of Consto's planning and control approach, *Involverende Bygging i Consto* (Eng: Involving Construction in Consto). The purpose of the document analysis was to investigate Consto's building strategy and internal guidelines on implementing takt.

## **RESULTS**

This section presents the findings from the case study. The interviews were the primary source for these. Unless explicitly noted in the text, all the presented results stem from these. We have divided the findings into two categories: causes for delays and elements for preventing these delays.

### **CAUSES FOR DELAYS**

#### **Deliveries and logistics**

According to the informants, one of the main reasons for delays in takt productions is late deliveries to the building site. Delay of delivery of materials, equipment, tools and other requirements prevent cars from completing their work in the takt area before the handover to the next car. The missing delivery or unfinished work will often affect the next car directly. However, sometimes the effect of the delay appears only later in the production.

Delayed deliveries can result from unexpected conditions such as bad weather, incidents or even a pandemic. However, in many cases, the reason for deliveries being late is that they are ordered too late. Trade contractors tend to postpone orders to maintain the opportunity to add on more materials or equipment to save shipping cost. Instead of making the orders as soon as possible, the participants postpone the orders as much as possible. It turns out that it is hard to evaluate when the last deadline for ordering is, and, in some cases, the contractors outright forget to make orders because of this waiting tactic.

On the other hand, too early deliveries to the building site are also reasons for delays in the takt production. Materials or equipment stored at the site takes up space and need resources such as workers, time, and planning. Using the takt areas as storage space inhibits the production directly, while using transport areas such as hallways or stairs

slows down the logistic. An informant expressed that a significant challenge in takt is to handle the areas that are combined takt and transport areas to prevent the previously mentioned scenario. Also, dedicated storage areas slow down logistics due to deliveries needing more transfers than if delivered directly to the work area.

### **Errors**

Building errors is another reason for delays in takt production. Errors require rework and tearing down the existing product, often leading to damage to trades' finished work in the takt area. Such occurrences cause a chain of correction work that affects the progress in the takt area.

Interestingly, many informants did not consider building errors to delay the takt because the correction work was handled outside or parallel to the takt production. However, later in the interviews, all informants admitted to correction work often tended to cause delays later in production. We found that congestion of correction work shortly before the planned completion of a takt area was often the reason for not completing the area on time.

### **Incorrect estimation**

From the analysis, we discovered that if the input to the takt planning work is incorrect, it can lead cars working too slowly related to the plan and not finishing with the work in a takt area on time. Underestimated amount of work or areas not adequately sorted could be causes for the delays. For example, floor plans are often used as the primary documents while planning the takt. Variables like room height can easily be forgotten in the process and cause more work or need for equipment – such as lifts – to complete the area.

According to one informant, overestimating efficiency was a cause for working too slow according to the project's plan. However, this is not a common problem, and other informants said that efficiency is often higher than expected in takt due to the high degree of repetition in work.

### **Available staffing and crew**

We found that a lack of workers can be a reason for cars not being completed in time. The informants mentioned the constant need for more labor in the Norwegian construction industry as a cause for short-staffing in takt production periods. There is also a challenge with temporary labor replacing workers drilled in the cars' repetitive work. Sometimes, one worker needs two temp workers as a replacement, not because the temp workers are not qualified, but because the takt train's efficiency is tied to repetition.

An additional reason for a lack of workers is illness or injuries. Especially crucial for cars with small contractors and few workers. For example, if a car contains only one worker who gets an injury that makes it impossible for them to keep working the next takt time, the risk of not completing the takt area is high. As mentioned, it is not easy to find a replacement on short notice, and if one manages, it can be hard keeping up the required efficiency.

### **Communication and key roles**

We found internal communication problems to be an underlying cause for delays. The main problem is replacing key roles and staff between the takt planning process and the start of the takt production, or later in the production itself. The informants emphasized that the takt planning process is more than just the end-product, the takt plan. The planning process is where all the takt production trades anchor the main goals and notions

of collaborating. Being part of the process is vital for feeling ownership of the project and committing to the takt plan.

It is not easy to make people have ownership and commitment to the takt plan without involving them in the takt planning process. The informants claimed that this is why it is crucial to involve the right people from every trade in the takt planning process. The people in the planning process need to have a sufficient understanding of how the work is done and, at the same time, be able to plan. For example, when a trade representative is a manager with little or no attachment to the workers who will do the work. They often fail to consider essential parts of the work in the planning, and then they fail to communicate the importance of the plan to the workers. The result is the workers and crew leaders on the construction site lacking ownership and commitment.

## **PREVENTING DELAYS**

In the case study, we found several different approaches to prevent takt production delays. A similarity between all approaches is that they all benefit from a high degree of involvement from the trades with the takt planning and in the production phase. All the informants agreed that making disruptions, abnormal production, or uncertainties visible as soon as possible is crucial for preventing delays in takt. In the following, we will present the main strategies identified for preventing takt delays.

### **Weekly meetings**

Some informants acknowledged that weekly meetings with all takt production trades were a key tool to prevent delays. The meetings included a status update from all trades and a lookahead planning discussion for the next three weeks focusing on the first one. Some informants recommended doing the meeting halfway through the one-week takt time so that the trades had time to discover potential delays and at the same time had sufficient time to do measures before the handover of the takt area.

The projects used several measures to correct issues identified in the weekly meetings. For example, some to ensure sufficient capacity, levelling up the work crew with more power to increase productivity and assigning overtime work. Other to find solutions to deal with obstacles such as late deliveries. Here, the typical approach was to get together all the relevant actors – e.g. trades and suppliers – and develop a plan of action to ensure minimal impact on the takt plan.

On the other hand, some informants reported having challenges with the weekly meetings. They had experienced trades showing up unprepared to clarify the status on site and look ahead to the following weeks. In some cases, the trades were described as too positive regarding their production halfway through the takt time and would not report potential delays in the meetings. The trades gambled on production speed increasing in the second half of the takt time without doing any measures, which often led to delays. Another concern was that the weekly meetings alone could not handle all challenges at a dynamic construction site. There is a need for more frequent meetings to distribute information and involve the trades. Many of the project organizations interviewed in this study claimed that Daily Huddle is a tool to meet these needs.

### **Daily Huddle**

Many of the informants mentioned Daily Huddles as a significant tool to handle the day-to-day obstacles on site. They described Daily Huddles as a 15-minute meetings series taking place every morning out on the site. All participants on site, inside and outside the takt production, are represented. The Daily Huddle is a tool to distribute and gather

information such as upcoming deliveries or production disruptions. In this way, solutions, especially to logistics challenges on site, can be solved effectively immediately after the challenge becomes visible, instead of waiting for the weekly meeting.

We found that some project organizations used Daily Huddle in combination with the weekly meetings. In contrast, others had gone over to relying solely on Daily Huddle as the production control and involvement mechanism. The projects that used only Daily Huddle saw no need for further involvement from the trades. Prioritizing the Daily Huddle led to increased benefits from them. The key was to involve the right roles with a good overview of the whole construction process and decision-making mandate in these meetings.

Consto's crew leader for carpentry typically led the Daily Huddle in projects that used both meeting series types. On the other hand, in projects using only Daily Huddle, the site superintendent led the meetings. By involving key roles such as the site superintendent and, in some cases, even the project manager in the Daily Huddle, chains of commands shortened, information flow increased, and the time from a challenge becoming visible to it being solved was reduced.

Prioritizing the time after the meeting, and solving the identified issues right away, was vital to benefit from the Daily Huddles. For example, in one project, nobody in the project organization was allowed to schedule appointments until one hour after the Daily Huddle. This rule ensured that they had the time to deal with potential needs that occurred in the meeting.

### **Planning phase**

Another finding is that a well-structured handover process from design to execution can help prevent delays in the takt production. Some of the project organizations had used a meeting series called the 16-12-8-4-1 meeting series for this purpose. This series is parallel to the takt planning process. The main goal is to ensure that the design's detail level is sufficient and that the preconditions for construction are adequate.

The internal document *Involverende Bygging i Consto* states that the 16-12-8-4-1 series consists of five meetings 16, 12, 8, 4, and 1 weeks before the takt production starts. The first and the second meetings included the design team and the main contractor Consto. In the third meeting, eight weeks before the takt start, the design team hands over the drawings to the main contractor and sub-contractors. The last two meetings of the series focus on ensuring that the drawings are sufficiently detailed for construction. The last meeting of the series also ensures that all constraints for starting the takt have been removed.

All the informants in the study emphasized that the key to a smooth takt production is to ensure every participant feels ownership and commitment to the takt plan and that they are working towards the same overall goal. This ownership feeling and commitment can be created in the takt planning by involving the trades in the process. We found that it is essential to spend enough time on the takt planning so that crucial issues in the takt production are identified and solved. According to the informants, the project organization should strive to guarantee that the people who will actually do the takt production – i.e. crew leaders – are involved in the planning.

Often, Consto, as the main contractor, will be significantly more experienced and knowledgeable about planning than the sub-contractors. According to the informants, it can then be a good idea for them to help the trades in their planning. Some informants

revealed that they sometimes had sat down with single trades and, for example, made very detailed logistic plans to maintain site workflow.

To prevent delays related to deliveries, we found it beneficial to ensure orders are placed before the takt production starts. With takt, every trade knows what and where to produce when and can easily convert the takt plan into a delivery plan. Some informants said that fewer delivery related problems occurred when they had made sure that the trades in the takt had made their orders before the production started. They also said that any changes to the deliveries after order placement, was often no problem for the supplier as long they were made in sufficient time before the delivery. Also, with occurrences of delays, they had experienced few issues related to postponing deliveries from the supplier.

## **DISCUSSION**

### **CAUSES FOR DELAYS**

The causes for delays found in this paper are arguably not only related to takt production but construction in general. They align with earlier findings in the literature, especially, findings related to delays in LBMS. There are many similarities between the two work structuring methods – takt production and LBMS. Therefore, it is not surprising that the methods face similar challenges to maintain production. However, a unique factor for takt production is the tight coupling between activities and little or no time buffers to absorb variability. Therefore, we would argue takt is the more fragile production system of the two, with less room to implement necessary measures to prevent delays before handovers between trades, leading to unfinished takt areas being handed over.

According to our findings, handing over unfinished takt areas tends to lead to more delays later because of irrational work sequences and correctional work – i.e., it leads to what we would call a *parade of delays*. The parade of delays is similar to Seppänen's cascading delay chains in LBMS. However, a parade of delays in takt production is more likely to affect the overall delay in the project due to the differences between the work structuring methods previously discussed. Once a delay has occurred in takt production, it requires taking measures straight away to not delay the overall schedule in the project. For example, the literature points to train stoppage as a solution to prevent these handovers of unfinished takt areas. However, train stoppage cannot fully prevent a parade of delays. A train stoppage will cause an overall delay. It delays the takt plan one takt period, a delay which will not be made up without other measures.

Both cascading delays and the parade of delays relates to the principle of *jidoka*, in the sense of not letting a deficient product pass through the production line – it causes more waste than just fixing the problem straight away. Therefore, it is crucial to strive to prevent delays instead of reacting to them when they occur.

### **PREVENTING DELAYS**

The literature suggests that the key to flow in production is to design a production system that spans from the design phase to the handover to the client. The 16-12-8-4-1 meeting series aims to deal with the transition between the design and production phases by gradually involving the trades in production. This gradual transition helps the trades familiarize themselves with the design and quality assure it, making production plans – e.g. the takt plan – more reliably. In particular, the meeting series can help prevent delays such as building errors and incorrect estimation.

Planning the logistic on site is key to keeping the flow in the takt production. The takt plan makes it easier to make visible where the different trades will be working at specific times but need to be complemented by additional planning of non-value creating activities such as transportation of materials and supplies. From the case study, one of the most challenging parts of logistics was handling takt areas that are also transport areas such as hallways and stairs. The challenge was to maintain progress in the area and, at the same time, not cut the supply to other takt areas. A key idea of takt is to let every car work undisrupted in the takt area. Any transport through the area will interfere with this. While transport through production areas is a well-known challenge in construction, it has been poorly covered in previous studies on takt and is an area that warrants more research.

The control work of the takt production through Weekly Meetings and Daily Huddles harmonizes well with the Last Planner System's mechanisms. Our findings are in concurrence with previous studies. Weekly Meetings and Daily Huddles are effective tools in combination with takt production. We found that the Daily Huddle is a tool that can deal with disruptions at a very early stage and solve the day-to-day challenges at the site. Our findings underline that it is crucial to involve people with the necessary overview and mandate to make the Daily Huddle effective. Setting aside time for key roles – such as the site supervisor – to deal with minor issues every day can be time-saving in the long run because it prevents parades of delays. Prioritizing the Daily Huddle made the Weekly Meetings superfluous.

A finding in this paper is that the necessary commitment and ownership in the project for the trades can be created through the takt planning process. However, doing so requires the trades to be involved in the process. Among the approaches described in the literature, TTP will serve this purpose better than TPTC.

## **CONCLUSION AND FURTHER RESEARCH**

The purpose of this paper was to look at how managers on site can prevent delays proactively in executing the takt. To achieve this purpose, we conducted a case study of Consto - a major Norwegian contractor.

This paper confirms findings from previous studies that the key to smooth takt production is the takt planning process. The takt planning process is where the takt production participants build ownership and commitment. A good process is crucial for establishing good communication in the execution phase. Good communication enables detecting and dealing with potential issues before they cause takt delays. Also, the handover from design to production is essential to prevent delays. The 16-12-8-4-1 meeting series is an effective tool for quality assuring the design and making the trades familiar with it.

The consequences of a parade of delays in takt production can be significant. Instead of reacting to delays, delays should be prevented. Even with a healthy takt planning process, we found frequent trade involvement throughout the execution phase necessary to prevent delays. Daily Huddles and Weekly Meetings are tools that improve information distribution, logistics and ensure all preconditions are met for carrying out the takt production on site. We found that it is crucial to involve people who have an overview perspective of the project and decision-making mandate to make these meetings effective. It is also beneficial to set aside enough time after these meetings to solve any needs or issues brought up.

This paper has identified several causes for delays in takt, and approaches for preventing them. Having used a qualitative case study strategy, we have no quantitative



data on how often these delays occur or how effective the various approaches prevent these delays. Based on this paper's limitations, more research is needed on how to prevent takt production delays effectively. We suggest further investigation to measure the effect the Weekly Meetings and Daily Huddles have on preventing delays in takt production.

We have in this paper looked at only one Norwegian contractor. Other proactive measures by management on site in other companies should be identified. Also, there is a need to investigate if the delay causes and the prevention approaches are culturally dependent.

## REFERENCES

- Ballard, G. (2000). "The Last Planner System of Production Control." The University of Birmingham, UK.
- Binninger, M., Dlouhy, J., Steuer, D., and Haghsheno, S. (2017). "Adjustment Mechanisms for Demand-oriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control." *25th Ann. Conf. of the IGLC*, Heraklion, Greece, 613–620.
- Frandsen, A., Berghede, K., and Tommelein, I. D. (2013). "Takt Time Planning for Construction of Exterior Cladding." *21th Ann. Conf. of the IGLC*, Fortaleza, Brazil, 527–536.
- Frandsen, A., Berghede, K., and Tommelein, I. D. (2014). "Takt-Time Planning and the Last Planner." *22nd Ann. Conf. of the IGLC*, Oslo, Norway, 571–580.
- Frandsen, A. G., Seppänen, O., and Tommelein, I. D. (2015). "Comparison Between Location Based Management and Takt Time Planning." *23rd Ann. Conf. of the IGLC*, Perth, Australia, 3–12.
- Haghsheno, S., Binninger, M., Dlouhy, J., and Sterlike, S. (2016). "History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control." *24th Ann. Conf. of the IGLC*, Boston, Massachusetts, USA, 53–62.
- Haugen, C. G., Lædre, O., and Aslesen, S. (2020). "Takt Performance Indicators." *28th Ann. Conf. of the IGLC*, Berkeley, California, USA, 457–468.
- Kalsaas, B. T., Skaar, J., and Thorstensen, R. T. (2015). "Pull vs. Push in Construction Work Informed by Last Planner." *23rd Ann. Conf. of the IGLC*, Perth, Australia, 103–112.
- Lehtovaara, J., Seppänen, O., Peltokorpi, A., Kujansuu, P., and Grönvall, M. (2020). "How takt production contributes to construction production flow: a theoretical model." *Construction Management and Economics*, Routledge, 39(1), 73–95.
- Robson, C., and McCartan, K. (2016). *Real World Research*. Wiley, Hoboken.
- Schöttle, A., and Nesensohn, C. (2019). "The Beauty of a Phase-Overlapping Last Planner System® With Incorporated Takt." *27th Ann. Conf. of the IGLC*, Dublin, Ireland, 441–450.
- Seppänen, O. (2009). "Empirical research on the success of production control in building construction projects." Aalto University, Finland.
- Seppänen, O., Ballard, G., and Pesonen, S. (2010). "The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System." *18th Ann. Conf. of the IGLC*, Haifa, Israel, 467–476.
- Tommelein, I. D., Riley, D., and Howell, G. (1999). "Parade Game: Impact of Work Flow Variability on Trade Performance." *Journal of Construction Engineering and Management*, 125(5), 304–310.
- Womack, J. P., and Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press, New York.

