

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



## **I Forord**

Denne masteroppgaven er utført ved institutt for Matematiske realfag og teknologi ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB). Jeg har gått studiet for byggtknikk og arkitektur og har igjennom de senere år ervervet meg faglig innsikt innenfor disse rammer. Denne bakgrunnen gjorde det interessant å ta fatt i en problemstilling omkring de praktiske forhold under byggeproduksjon og spesielt å få ta del i den utvikling som skjer innen bruk av informasjonsteknologi i byggesektoren.

Jeg vil i denne sammenheng takke veiledere ved UMB professor John Petter Langdalen og forsker Eilif Hjelseth for oppklarende og god veiledning.

Oppgaven er utført i samarbeid med AF Bygg Oslo. Problemstilling og store deler av materialet til oppgaven er hentet herfra. Derfor er det på sin plass å takke Rune Scheele og Magnus Baggetorp for stor tålmodighet og interesse i oppgaven. Takk også til Raymond Wang og flere produksjonsledere som tok seg tid til å dele av sine erfaringer.

Jeg vil også takke min familie som har lest korrektur og bistått på alle måter. En spesiell takk til kona Marita Wethelund for tålmodighet og støtte i arbeidet, og til min datter Emma Amalie(6mdr) for gledesspredning i hverdagen.

UMB, mai 2011

Halvard Wethelund

## II Sammendrag

Oppgavens utgangspunkt var et ønske hos AF Bygg Oslo om å se på muligheter til å forbedre fremdriftsplanleggingen av betong. Det ble antydning at 3-dimensjonale bygningsmodeller, simulering av disse og nye planleggingsteori ved Lean Construction hadde potensiell forbedringsmuligheter. Det er, med den nåværende planleggingsmetoden, vanskelig å få frem helheten av betongproduksjonen. Dette gjør det blant annet utfordrende å håndtere logistikk og endringer som oppstår på byggeplassen. En forbedret løsningen kunne være en utvidet planlegging ved hjelp av bygningsinformasjonsmodeller(BIM) og ny teori .

Målet med oppgaven ble derfor å utvide den nåværende framdriftsplanleggingen hos entreprenøren, slik at planleggingsprosessen kan møte de utfordringer og behov som eksisterer. For å nå dette målet var det viktig å kartlegge de aktuelle teorier, behov og den praksis som blir benyttet av aktuelle planleggere i dag. Neste trinn ble så å vurdere nye muligheter i teori og metoder. Det var derfor naturlig å starte med aktivitetsbasert nettverksplanlegging som er den teori som underbygger den nåværende metoden. Videre ble alternativer teorier som stedbaset planlegging, Lean Construction ("trimmet bygging"), risikostyring og simulering av byggeprosess (4D CAD) behandlet. Elementer fra disse ble ansett som relevante for en utvikling av fremdriftsplanleggingen.

Spesielt interessant for en potensiell utvikling var de teorier og metoder som ble funnet i Rogier Jongeling sin doktoravhandling: "A process model for work-flow management in construction" (Jongeling 2006). Her delte han inn fremdriftsplanlegging i et makro- og et mikroperspektiv. Makroplanlegging ble definert som planlegging av de store linjer og samspillet mellom fag igjennom hele byggeprosessen. Mikroplanlegging fokuserte på de prosesser som finner sted på byggeplassen gjennom simulering, kontroll og planlegging. Mikroplanlegging ble utgangspunkt for den utvikling av fremdriftsplanleggingen som denne oppgaven anser som hensiktsmessig.

Det ble funnet et skarpt skille mellom planleggingsteoriene på et fundamentalt nivå. Det dreide seg om hvorvidt oppgavene på byggeplassen skal presses frem etter den forutbestemte planen (dominerende praksis), eller om ressursene på byggeplassen skal trekke oppgaver fra planen. Denne forskjellen skapte to forskjellige måter å møte produksjonens utfordringer på og fikk en praktisk konsekvens for både planleggingen og produksjonen av betongen.

For å kartlegge den nåværende fremdriftsplanlegging for betong som utføres i AF Bygg Oslo, samt de forbedringsbehov som anses som relevante, ble det gjennomført intervjuer av produksjonsledere for betong hos entreprenøren. Disse intervjuene beskrev en planleggingsprosess basert på erfaring med praktiske hjelpemidler. Avdekkete begrensinger og utfordringer ved den nåværende prosessen, samt spesifikke forbedringsmuligheter, ble beskrevet i en behovsdefinisjon. Denne definisjonen muliggjorde en vurdering av forskjellige planleggingsmetoder.

Intervjuene og et studium av et konkret prosjekt hos AF Bygg Oslo dannet grunnlag for en utdypende beskrivelse av dagens prosess. Dette prosjektet var råbygget på boligblokkprosjektet Grefsenkollveien 16. Betongen ved dette prosjektet ble produsert ved hjelp av plasstøpte vegger og dekker understøttet av plattendekker. Praktiske erfaringer og den gjennomførte planleggingsprosessen ble beskrevet.

Den første potensielle forbedringen av fremdriftsplanleggingsprosessen bygde på konseptene risikostyring og simulering av produksjonen på byggeplass. Risikostyringen ble introdusert

for å rette fokus på det uforutsette og for å få planleggeren til bevist å vurdere dette. Bygningsinformasjonsmodellen ble brukt til visualisering av bygget, og som utgangspunkt for simuleringen av produksjonen i en 4D CAD. På denne måten ble den en plattform for kommunikasjon og forståelse i arbeidet med planleggingen. Denne antatte forbedrede prosessen ble gjennomført/simulert i et forsøk på grunnlag av materialet fra Grefsenkollveien 16 studiet.

Den andre potensielle forbedringen som ble belyst var en fremdriftsplanleggingsprosess ved bruk av elementer fra nyere planleggingsteorier, kalt Lean Construction, med et ”trekkende” perspektiv. Dette perspektivet ble ansett å gjøre planleggingsprosessen mer fleksibel og å muliggjøre en mer optimal produksjon. Bygningsinforasjonsmodellen ble igjen brukt som en plattform for utarbeidelse av planene. En planleggingsprosess ble foreslått og et forsøk ble gjennomført på grunnlag av materialet fra Grefsenkollveien 16 og teori.

Oppgaven har vist hvordan en potensiell forbedring av nåværende fremdriftsplanlegging av betong kan utføres. Ytelsesvurdering og drøfting av de to utvidelsene gav grunnlag for en sammenlignende vurdering. Resultatet var blant annet at en bygningsinformasjonsmodell, med en berikelse i form av en produksjonssimulering, kan gi et godt grunnlag for en forbedret kommunikasjon og forståelse omkring planleggingen. Videre kan en perspektivendring i det utførende arbeidet på byggeplass og dets planer gi en ytterligere fleksibilitet og optimalisering av produksjonen.

### III Abstract

The methods used in concrete production today give no opportunity to visualize the production with all its aspects. This challenges the logistics and changes that may occur at the building site, and calls for new solutions. The solution can be an extended planning using building information models (BIM) and new theory. These new tools may thus enable the use of 3-dimensional building models, simulation and new management theory to simplify the management of concrete production.

This thesis describes practical steps to management of concrete production based on simulation in a 4D CAD/ 4D micromodel as well as theory from Lean Construction. The work has been done on request from AF Bygg Oslo, a contractor in Oslo, Norway.

The purpose of this thesis is to expand on the planning process currently in use by AF Bygg Oslo in order to clarify challenges and needs within the production. In order to achieve this it was important to identify the theories, needs and methods of current practice. The next step was to look for new opportunities in terms of alternative theory and methods. The activity-based planning, serves as an example of today's practice, and was a natural reference. Then alternatives like Location-Based management, Lean Construction, risk management and animation of a building sequence (4D CAD) were considered. Elements from these were then seen as potential improvements of the current planning process.

The process model discovered by Rogier Jongeling, and described in his PhD "A process model for work-flow management in construction"(Jongeling 2006), was of special interest for this potential improvement. In his thesis all construction planning was divided in a macro and a micro perspective. The macro management "aims to provide insight in the overall flow of work"(Jongeling 2006). The micro-management focused on the production through simulation, control and planning on the building site. Challenges in the field of micro-management are the focus of this thesis, seeking to identify areas of potential improvement of the building process.

A basic distinction between the management theories was discovered. This considered how the construction tasks were either "pushed" according to the plan or "pulled" out of the plan by the available resources on the building site. This has significant practical consequence for planning and production of concrete.

The current process for planning of concrete in AF Bygg Oslo and the need for improvements was investigated by interviewing concrete production managers at the contractor. These interviews described a planning process based on experience and with practical tools. The limitations and challenges of the process, as well as the specific improvement opportunities, were described in a requirements definition. This definition enabled an evaluation of different scheduling methods.

A detailed description of the current process was written on the basis of the interviews and a study of a specific project at AF Bygg Oslo, the apartment building project Grefsenkollveien 16. The walls and floors in this particular project were manufactured using cast in place concrete. Practical experience and the conducted scheduling process were described.

The first potential improvement of the planning process was based on the concepts of risk management and simulation of production on the building site. Risk management was introduced in order to focus on the unexpected aspects of the production. Building

information model (BIM) was used for visualization of the building and a basis for simulation of the production (4D CAD). In this way, it became a platform for communication and understanding of the process. This assumedly improved process was attempted on the basis of the material from Grefsenkollveien 16 project.

The second potential improvement that was discussed was use of elements from recent theories in the planning process, called the Lean Construction, with a "pull" perspective. This perspective was considered to make the planning process more flexible and so the production more optimal. The building information model was used as a platform for the preparation of the plans. A planning process was proposed and an experiment conducted on the basis of the material from Grefsenkollveien 16 and theory.

The thesis has shown how potential improvements of the current planning of concrete production can be made. Performance evaluation and discussion of the two extensions was the basis for a comparative review. The result is a building information model, with enrichment in the form of a production simulation, which may provide a good basis for improved communication and understanding of planning. New theories like Lean Construction may give the planner further flexibility and optimization of the production.

## IV Innhold

|       |  |    |
|-------|--|----|
| I     | Forord .....   | 1  |
| II    | Sammendrag .....   | 2  |
| III   | Abstract .....   | 4  |
| IV    | Innhold.....   | 6  |
| V     | Figurliste .....   | 8  |
| VI    | Tabelliste.....  | 8  |
| 1.    | Oppgavens rammer og metode.....  | 9  |
| 1.1   | Problemstilling.....   | 9  |
| 1.2   | Begrunnelse.....   | 9  |
| 1.3   | Avgrensing .....   | 10 |
| 1.4   | Metode .....   | 12 |
| 1.5   | Nødvendig faglig forkunnskaper for forståelse og begrepesforklaring. ....            | 14 |
| 2.    | Teori fremdriftsplanlegging.....   | 15 |
| 2.1   | Aktivitetsbasert og Stedbasert planlegging.....                                      | 15 |
| 2.1.1 | Aktivitetsbasert og nettverksplanlegging.....  | 15 |
| 2.1.2 | Stedbasert planlegging.....  | 17 |
| 2.2   | BIM og 4D simulering - en plattform for raffinering .....                            | 19 |
| 2.2.1 | Bygningsinfomasjonsmodell (BIM) - et effektivt verktøy.....                          | 19 |
| 2.2.2 | 4D CAD, en visuell simulering av en byggeprosess over tid. ....                      | 19 |
| 2.2.3 | 4D CAD- mulige effekter.....   | 20 |
| 2.2.4 | Utfordringer i møte med 4D CAD.....  | 21 |
| 2.2.5 | 4D CAD i planleggingsprosess.....  | 22 |
| 2.3   | Praktisk risikostyring i byggeprosess .....  | 25 |
| 2.3.1 | Usikkerhets elementer under produksjons av betong.....                               | 26 |
| 2.4   | Lean – en ny generasjon produksjonsteori. ....                                       | 28 |
| 2.4.1 | Lean Construction er en trimmet byggeprosess .....                                   | 28 |
| 2.4.2 | Pull eller Push, skal planen trekkes fra eller presses på byggeplassen. ....         | 28 |
| 2.4.3 | Flyt i byggeprosessen .....  | 29 |
| 2.3.4 | Bygningsinformasjonsmodell i praktisk bruk etter Lean Construction .....             | 31 |
| 2.3.5 | Last planner <sup>TM</sup> – Lean Construction på produksjonsnivå-i korte trekk..... | 31 |
| 3.    | Resultater .....   | 35 |
| 3.1   | Systemdefinisjon "Fremdriftsplanlegging for betong av boligblokk" .....              | 35 |
| 3.1.1 | AF Gruppen – kontekst for denne oppgavens problemstilling .....                      | 35 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.1.2 | Grafisk Systemdefinisjonen: .....  | 35  |
| 3.2   | Behovsdefinisjon for praktisk fremdriftsplanlegging for betong. ....   | 36  |
| 3.2.1 | Resultat av kartleggende intervjuer .....  | 36  |
| 3.2.2 | Behovsdefinisjon drøfting og sammendrag. ....  | 40  |
| 3.3   | Alternative planleggingsmetoder .....  | 41  |
| 3.3.1 | Planleggingsmetode 1: Nåværende planleggingsprosess, aktivitets og erfarings basert planlegging etter "kritisk vei"(CPM). .... | 41  |
| 3.3.2 | Drøfting av planleggingsmetode 1. ....   | 48  |
| 3.3.3 | Planleggingsmetode 2 Nåværende planleggingsprosess utvidet med 4D mikroplanlegging. ....                                       | 51  |
| 3.3.4 | Drøfting av Planleggingsmetode 2- Nåværende planleggingsprosess utvidet med 4D mikroplanlegging. ....                          | 64  |
| 3.3.5 | Planleggingsmetode 3-4Dmikroplanlegging og Last Planner™ system. ....  | 67  |
| 3.3.6 | Drøfting av Planleggingsmetode 3-4Dmikroplanlegging og Last Planner™ system. ....  | 71  |
| 3.4   | Drøfting og vurdering av de tre planleggingsmetodene mot behovsdefinisjonen. ....  | 74  |
| 3.4.1 | Drøfting av ytelsesvurderingen .....   | 76  |
| 4.    | Konklusjon .....   | 81  |
| 5.    | Videre arbeid .....  | 83  |
|       | Litteratur liste .....   | 84  |
|       | Vedlegg: .....   | 86  |
|       | Vedlegg 1:Spørreskjema vedrørende fremdriftsplanlegging hos AF-gruppen 2011.....   | 86  |
|       | Vedlegg 2: Intervjuer: Praktisk betongplanlegging. ....  | 88  |
|       | Vedlegg 3: Intervju med produksjonsleder for betong ved Grefsenkollveien 16 24.03.2011 .....                                   | 98  |
|       | Vedlegg 4: Detaljering av arbeidsbolker fra forsøk planleggingsmetode2 .....   | 105 |
|       | Vedlegg 5: Forsøk leveranse og kranprioriteringsplan. Fra forsøk planleggingsmetode2 .....                                     | 106 |
|       | Vedlegg 6: Last planner™ Copyright and trademarks .....  | 107 |
|       | Vedlegg7: Planleggingsprosess makronivå (.....   | 108 |
|       | Vedlegg 8 Kollisjonstest(resultat 1-10).....   | 109 |



## V Figurliste

|   |    |
|---|----|
| Figur 1 Diagram for nettverksanalyse; (Samset 2008) .....   | 15 |
| Figur 2 Line of Balance diagram;(Olofsson 2006).....  | 18 |
| Figur 3 planleggingsprosess makronivå; (Jongeling 2006) .....   | 23 |
| Figur 4 Kobling mellom 4Dmikromodell med og uten volumer; (Jongeling 2006) .....  | 24 |
| Figur 5 4Dmikromodell med volumer til vurdering;(Jongeling 2006) .....  | 24 |
| Figur 6 Byggeprosessen 3-perspektiver, (Bertelsen 2003).....  | 29 |
| Figur 7 Prosess og operasjoner i et diagram etter Shingo. (Kalsaas & Bølviken 2010) .....   | 30 |
| Figur 8 Last Planner™ system prosess; (Ballard 2000) .....  | 32 |
| Figur 9 Forforutsetninger for en sunn aktivitet.....  | 33 |
| Figur 10 Systemdefinisjon .....   | 35 |
| Figur 11 Syklus/streng inndeling av bygget; Grefsenkollveien 16.....  | 43 |
| Figur 12 Utsnitt plantegning med støpeetappe forklaring; forsøk Grefsenkollveien 16 .....   | 44 |
| Figur 13 BIM modellen, Grefsenkollveien 16 med akser; forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011  | 52 |
| Figur 14 Detaljering nivåforskjeller med kommentar; forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011 ....   | 53 |
| Figur 15 Detaljering av trappe og heisesjakt; forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011 .....  | 53 |
| Figur 16 Spesiell detalj i betongvegg, forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011 .....   | 54 |
| Figur 17 Skisse modell med snitt og akser; forsøk Googel Sketchup .....   | 55 |
| Figur 18 Skissemodell med volumer; forsøk Google Sketchup .....   | 55 |
| Figur 19 Volumer fordelt på lag/layers, skissemodellen er gjemt; forsøk Google Sketschup .....  | 56 |
| Figur 20 1. og 2. etasje med støpeetappevolumer; forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011.....  | 56 |
| Figur 21 Valg av volum, sets, aktivitet i Timeliner; forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011.....  | 57 |
| Figur 22 Fire forskjellige dagsetapper, Illustrasjoner fra simuleringen; forsøket Autodesk Navisworks<br>Manage 2011.....                                 | 58 |
| Figur 23 Kollisjon mellom to støpeetapper i en Clash Detectiv analyse; forsøk Autodesk Navisworks<br>Manage 2011.....                                     | 60 |
| Figur 24 Tomtegrenser, byggets grenser i kart; forsøk Google Sketchup .....   | 61 |
| Figur 25 Kranspenn visualisert med transparent sirkel; forsøk Google Sketchup. ....   | 62 |
| Figur 26 Riggplan ; forsøk i Google Sketchup .....  | 62 |
| Figur 27 Riggplass med illustrert objekter i Autodesk Navisworks Manage 2011 .....  | 62 |
| Figur 28 Utvelgelse av etapper på grunnlag av informasjon fra 4Dmikromodellen; forsøk Last<br>Planner™ Autodesk Navisworks manage 2011 .....              | 70 |
| Figur 29 Illustrasjon fra simulering av ukeplan; alle områdene har fargedefinert aktivitet; forsøk Last<br>Planner™ Autodesk Navisworks Manager 2011..... | 71 |

## VI Tabelliste

|   |    |
|---|----|
| Tabell 1 Behovsdefinisjon kategorisert..... | 40 |
| Tabell 2 Ytelsesvurdering.....              | 75 |

## 1. Oppgavens rammer og metode

### 1.1 Problemstilling

*Kan planlegging med 4DCAD/4Dmikromodell og Lean Construction prinsipper forbedre den nåværende planleggingsmetode for betong produksjon?*

### 1.2 Begrunnelse

Framdriftsplanlegging hos en entreprenør handler om hvordan man skal komme seg fra bar tomt til ferdig bygg eller anlegg. Til forskjell fra mange andre planleggingsprosesser dreier dette seg om svært konkrete deler satt sammen i en plan. Likevel blir byggeprosessen kompleks fordi det oppstår uforutsette hendelser underveis, og fordi byggeprosessen aktører blir flere og mer spesialiserte. Denne oppdelingen fører til økt koordinering og samhandling som må fanges opp i kontrakter og planer. Planleggingen blir fundamentet for samhandling og kommunikasjon, og en forutsetning for at byggeprosessen resultat, bygget, skal fullføres innenfor tids- og kostnadsrammer.

En byggeprosess er ikke en deterministisk prosess, der alt er kjent fra starten, men heller en stokastisk prosess der en rekke tilfeldigheter inntreffer underveis. Dette gjør det umulig å planlegge alle kommende hendelser uten å ta høyde for endringer og uforutsette elementer. Utfordringene under byggeprosessen kan samle seg opp og ringvirkningene av korrigerende tiltak kan føre til uante konsekvenser i form av tid og kostnad. Produksjonsledere står ovenfor en relativt vanskelig oppgave når planen skal lages, men møter kanskje enda større utfordringer da planen skal settes ut i praksis.

Byggeprosessen naturlige kompleksitet underbygger et behov om en god og pålitelig plan. Utarbeidelse av en god plan trenger tid og må utføres på et konsistent underlag som gir grunnlag for beslutninger. Den nåværende planleggingsprosessen er erfaringsbasert og utføres av ansvarlig anleggsleder og produksjonsleder for betong. Tiden i byggenæringen er knapp og dyr og de ansvarlige planleggerne møter utfordringer fordi byggingen ofte starter før all nødvendig prosjektering og underlag er klart. Grunnene til den forhastede prosessen er i stor grad økonomisk, og den gjør det nødvendig at planleggingen og produksjonen blir en dynamisk prosess med høy aksept for endringer underveis. Dynamikken i den nåværende planleggingsprosessen er ikke fraværende, men mangel på tilstrekkelige hjelpemidler begrenser den betraktelig. Det er behov for et verktøy som kan hjelpe planleggerne i å fremme dynamikk i planleggingen. Denne dynamikken er viktig i både planlegging og produksjon slik at prosessen kompleksitet behandles på en god måte.

Den nåværende planleggingsprosessen har mange forskjellige uttrykksformer som Gantt diagram og flyttplaner. Dette mangfoldet av planuttrykk gjør hele prosessen enda mer kompleks. Bilde av produksjonsforløpet vokser og blir nødvendigvis uoversiktlig. Flaskehals og kritiske prosesser i produksjonen drukner i planene, og blir lett oversett. Om disse kritiske faktorene blir oppdaget lar de seg vanskelig analysere på grunnlag som foreligger. Samtidig legger ikke de fastlagte planene noe enkelt grunnlag for endring og optimalisering underveis. Planleggeren trenger et helhetlig uttrykk for sine planer slik planen kan vurderes, optimaliseres, kontrolleres og deles med andre.

Nye hjelpemidler og metoder skaper stadig muligheter til å berike planleggingsprosessene. En stadig forskning og utvikling av planleggingsverktøyer søker å forbedre nåværende metoder. Potensialet i disse verktøyene kan eksempelvis hjelpe planleggere hos AF Bygg Oslo i en optimalisering av sine planer. All planlegging må bygges på erfaring fra tidligere prosjekter, men likevel er det nødvendig med en stadig utvikling av planleggingsprosessene. Spesielt på grunn av høyere krav til det ferdige bygde produkt og byggenes unike utforming. Ytterligere planlegging som legger til rette for dynamikk i prosessen, mer detaljer og lett kommuniserbare planer er derfor ansett som et behov. Det er mulige svar på dette behovet for mer planleggingen som denne oppgaven omhandler.

Fokuset i denne oppgaven er spesielt rettet på fremdriftsplan for betong, da dette blir ansett å være en av de drivende prosessene innen sin del av en gjennomføringsfase. Dette er også en konkret prosess med utstrakt bruk av logikk, noe som forenkler en teoretisk tilnærming. Like fullt kan en rekke av de elementer som beskrives benyttes i andre byggeplanleggingskontekster.

### 1.3 Avgrensning

Planlegging er et stort og veldokumentert tema slik at nødvendige avgrensninger er gjort. Fokuset i denne oppgaven er på betongdrift og planleggingen av denne. Planlegging av prosjekt i helhet vil derfor ikke bli ytterligere omtalt, med mindre det ikke er av direkte relevans for betongplanleggingen eller forståelsen av denne.

I oppgaven er det valgt å presentere praktisk fremdriftsplanlegging for betong med tre metoder:

1. Nåværende anvendte planleggingsmetoder som Critical Path Metod (CPM)
2. Critical Path Metod(CPM) utarbeidet med hjelpeverktøyer 4D CAD.
3. Planlegging etter Last Planner™ system utarbeidet med hjelpeverktøyet 4D CAD.<sup>1</sup>

Andre metoder for planlegging av betongproduksjon vil ikke bli belyst av hensyn til oppgavens omfang. Disse kunne vært interessante i en bred vurdering av muligheter. Likefullt ansees de tre overnevnte metodene som dekkende. Dette kan begrunnes ved at metode 1 behandler den eksisterende praksis som benyttes i AF i dag slik at det nåværende utgangspunkt er definert. Metode 2 behandler en utvidelse av denne ved praktisk bruk av bygningsinformasjonsmodell, simulering og risikostyring. Den siste metoden omhandler planlegging etter ny teori fra Lean Construction, utført praktisk ved hjelp av elementer fra metode 2. De tre metoder behandler det utgangspunkt og den utvikling av betongplanleggingsprosessen som oppgaven finner hensiktsmessig.

Bruk av bygningsinformasjonsmodell (BIM) som virtuellplattform for planlegging er valgt fordi undertegnede mener den kan ha en stor praktisk og økonomisk gevinst innenfor betongdriftplanlegging hos entreprenør. Andre hjelpeverktøy er ikke belyst av hensyn til omfanget.

---

<sup>1</sup> se vedlegg; Last planner™ Copyright and trademarks

Opgaven er konkretisert med et praktisk eksempel fra prosjektet Grefsenkollveien 16. Dette er et prosjekt utført av AF Bygg Oslo. Prosjektet består av en boligblokk med plasstøpte betongvegger og dekker produsert ved bruk av plattendecker som underlag. Det finnes i dag en rekke byggemuligheter både innenfor materialvalg og valg av utførsel. Prefabrikkerte elementer kunne vært et spennende alternativ til plasstøping, og en sammenligning av disse ville belyst mange aspekter som finnes i et slikt valg. Plasstøping er valg fordi den får fram operasjonene og de repeterende utfordringene som planleggeren står ovenfor. Tidsaspektet med herdetid er et eksempel på en konkret rammebetingelse som gjør plasstøping interessant fordi det skaper en nødvendig syklus i produksjonen, samt en rekke behov i forhold til byggeplassens arealer. Grensesnittet mot de andre fagene og samarbeidsmulighetene er også aktualisert gjennom dette valget av prosjekttype på grunn av praktiske forhold under produksjonen. Ut fra en helhetsvurdering er det valgt å fokusere på boligblokker med plasstøping, men prinsippene er relevante for flere fag og prosjekttyper.

For å belyse nåværende planleggingspraksis for betong ble det utført intervjuer med anleggsleder og produksjonsledere for betong i AF Bygg Oslo. Her kunne det vært interessant å belyse det ut fra akademiske fagpersoner og andre entreprenører, da dette kunne gi et bredere syn. Likevel antas utvalget som valid fordi det omfatter det gjeldende tema da AF Bygg Oslo har egen betongdrift. Et større utvalg ville tatt erfaringer fra andre prosesser og kontekster, noe som kunne gjort det vanskelig å danne et konsistent bilde av situasjonen. Betongproduksjonsledere og anleggsledere i AF Bygg Oslo ble de utvalgte intervjuobjekter til kunnskapsinnsamling omkring eksisterende planleggingspraksis.

Planlegging på et overordnet nivå/makronivå er kun belyst med den hensikt å få fram forskjellene de fører til på mikronivå. Dette betyr at stedbasert og aktivitetsbasert prosess kun er konseptuelt beskrevet. Nettverksplanlegging er likevel utdypet fordi den er dominerende i den planleggingen vi kjenner i bransjen i dag.

Det kunne vært interessant å få med kapitler som tømmerfag, grunnarbeider, elektor og VVS for å utdype den dynamikken som skjer på en byggeplass. Disse kapitler vil kunne bli planlagt med mange av de samme prinsippene som betongdriften, men har alle sine egne særtrekk som det ville blitt svært omfattende å analysere. Betongdrift utmerker seg på sin side ved at det er et av de drivende fagene i en byggeprosess og står for en betydelig del av usikkerheten ved en framdriftsplan. Dette kommer av betongens helt egne krav til herdetid. I den grad andre fag er beskrevet er dette gjort for å få fram betongframdriftens avhengighet av disse, som for eksempel elektriske arbeider i veggen før den støpes. Denne avgrensningen fra helhetsbildet til et detaljert betongperspektiv er nødvendig for å kunne danne et konkret og konsistent bilde. Dette er en verden styrt av praktiske erfaringer slik at denne avgrensningen er gjort for å kunne komme i dybden av erfaringene innen ett fag.

Av litteratur er det kun valgt ut de teorier og metoder som er grunnleggende for de tre planleggingsmetodene som ønskes belyst. Aktivitetsbasert planlegging er berørt fordi dette er den nåværende planleggingsmetode. Stedbasert planlegging er vektlagt som et alternativ til aktivitetsbasert og fordi den kan skape et bedre grunnlag for planlegging på produksjonsnivå. Teori om 4D CAD modellering og bruk av 4D CAD er vektlagt på grunn av den praktiske

nyttene denne visualiseringen kan ha. Dette er videre konkretisert gjennom den planleggingsmetode som er definert av Rogier Jongeling på makro og mikro planleggingsnivå. Dette valget er gjort fordi dette anses som en hensiktsmessig utnyttelse av 4D CAD i planleggingsarbeidet. Risikostyring er også berørt grunnet den praktiske nytten dette tema kan tilføre planleggingen av produksjonen. Lean Construction og Last Planner™ system er spesielt vektlagt fordi dette er en annen grunnleggende planleggingsfilosofi enn den som eksisterer i nåværende planlegging. Denne er likevel avgrenset til den del som vedrører produksjon av betong, men med et innblikk i hvorfor denne endringen er antatt nødvendig. Det er tatt en rekke valg i forhold til litteraturvalg i henhold til de tre planleggingsmetoder som oppgaven anser som hensiktsmessig utvikling.

## 1.4 Metode

Problemstillingen rettes mot de grunnleggende utfordringene produksjonslederen står ovenfor ved en fremdriftsplanlegging av betongproduksjonen i et råbygg. Det er derfor valgt å legge vekt på nåværende planleggingsmetode for betongproduksjon i AF Bygg Oslo, og de eksisterende behov som betongproduksjonslederne uttrykker.

Planleggingen av betongdrift er det system som blir analysert i denne oppgaven. Den er en del av et større system som omfatter hele planleggingen av et bygg, men dette er oppgaven avgrenset fra. Denne oppgaven har valgt å fokusere på følgende tre alternative metoder for planlegging av betongfremdrift:

1. Nåværende anvendte planleggingsmetoder som Critical Path Metod (CPM)
2. Critical Path Metod(CPM) utarbeidet med hjelpeverktøyer 4D CAD.
3. Planlegging etter Last Planner™ system utarbeidet med hjelpeverktøyet 4D CAD.

Disse tre metoder ønskes belyst ved bruk av betingelsene for optimal betongproduksjon (Samset 2008).

Grunnleggende teori for de tre metoder er behandlet i litteratur delen og danner en del av det grunnlaget som metodene vurderes etter.

For å plassere planleggingsprosessen i et rammeverk er det hensiktsmessig å hente elementer fra en systemanalyse. Systemanalyse brukes for å komme fram til en optimal løsning på et problem. Dette gjøres ved blant annet å vurdere betingelsene for at systemet skal fungere. Den beste løsningen blir derfor vurdert ut fra et helhetlig overblikk og evnen til å tilfredsstille de gitte betingelsene. De aktuelle elementene fra systemanalysen er brukt i resultatet og danner rammeverket for metodevurderingen (Samset 2008).

Elementer fra systemanalysen som blir brukt i vurdering av planleggingsmetodene:

1. Systemdefinisjon - definere og avgrense systemet "Betongdriftsplanlegging"
2. Behovsdefinisjon – definere behov til prosessen.
4. Alternative metoder – beskrive de tre metoder.

## 5. Ytelsesvurderinger - test av planleggingspraksiser.

(Samset 2008)

Systemers innhold og sammensetning er gitt av faktorer som ”prosesser, mennesker, teknologi og materielle komponenter”(Samset 2008). Disse faktorer, med flere, gjør at systemet kan ivareta de behov planleggingsprosessen har for å oppnå en tilfredsstillende plan. Ut fra disse faktorer kan metodene sammenlignes og den metode som svarer best til systemets behov kan på dette grunnlag defineres (Samset 2008).

For å kunne synliggjøre og analysere rett er det viktig å finne de grunnleggende variable faktorer. Behovsdefinisjonen er gjort ved en bruk av kvalitativ metode ved intervju med hensikt å belyse taus kunnskap som ligger til grunn for de valg som er tatt i planleggingen. Utvalget er tatt på grunnlag av førstehåndserfaring. Dette er anleggsledere og produksjonsledere for betong ved forskjellige prosjekter i AF bygg Oslo.

Planleggingsmetodene er videre beskrevet som prosesser og analysert hver for seg i ”alternative metoder”. Vurderingene er gjort på et kvalitativt grunnlag basert på teori, intervjuene og egne praktiske observasjoner gjennom forsøk. Materialet til planleggingsmetode 1 er hentet fra prosjektet Grefsenkollveien 16 og intervjuene med produksjonsledere. Grefsenkollenveien 16 er et boligblokkprosjekt under oppføring (2011). Planleggingsmetode 2 er gjort på samme grunnlag, men ytterligere detaljert med et forsøk med risikostyring og 4Dmikromodell. 4Dmikromodellen er utført ved hjelp av programvaren Autodesk Navisworks Manage 2011 og Google Sketshup. Planleggingsmetode 3 tar utgangspunkt i 4Dmikromodellen fra planleggingsmetode 2 og springer derfor også ut fra de erfaringer som ligger til grunn i planleggingmetode 1. Denne prosessen er videre utdypet i et forsøk med Last Planner™ systemet laget på en 4Dmikromodell. Metodene er beskrevet gjennom intervjuer og forsøk, for videre å bli vurdert kvalitativt.

Den sammenlignende analysen blir utført som ”ytelsesvurderinger” med påfølgende drøfting. Planleggingsmetodene blir vurdert opp mot den behovsdefinisjonen som er funnet i henhold til intervjuene. Vurderingene blir gjort på et kvalitativt grunnlag belyst ved teori og funn i beskrivelsen av de tre planleggingsmetodene. ”Ytelsesvurderingen” er sammenlikningen av de tre metoder.

## 1.5 Nødvendig faglig forkunnskaper for forståelse og begrepsforklaring.

I denne masteroppgaven er det forutsatt at leseren har god faglig forståelse for den teori og terminologi som benyttes i oppgaven. Dette gjelder spesielt teori som omhandler Lean Construction, Last Planner™, 4DCAD, 4DCAD modellering, bygningsinformasjonsmodell (BIM) og stedbasert planlegging. Det forutsetter også noe kunnskap til nåværende praktiske betongproduksjon og planlegging av denne etter aktivitetsbasert planleggingsteori og CPM. Disse konseptene er kun kort omtalt i masteroppgaven, og spesielt vinklet mot planlegging av betongproduksjon. Det anbefales leseren å erverve seg tilstrekkelig faglig innsikt ved å studere følgende kilder:

- Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control (Kenley, R. & Seppänen, O. (2010).
- PHD : ” A PROCESS MODEL FOR WORK-FLOW MANAGEMENT IN CONSTRUCTION” av Rogier Jongeling
- Lean Construction Institute: <http://www.leanconstruction.org/>

### *Begreper*

Flyttplan - en plan for hvordan forskalingssystemene skal flyttes og blir en plan for den strategi råbygget skal bygges etter.

”Oppsett” - den støttende del av forskalingen og blir flyttet ved hjelp av kran til riktig akse/posisjon.

”Lukking” - den avsluttende del av forskalingen og monteres på oppsetten når alle bestanddeler inne i veggen er plassert. Veggen er etter lukking tett og klar til støping.

Plattendecker - en betongplate med innstøpt armering som løftes på plass av kran. Ved hjelp av understøttende ”dekkereis” kan det støpes dekke direkte på plattendecket.

Råbygg – kun byggets konstruksjonsmessige bestanddeler er oppført. Dette betyr i hovedsak konstruksjonsmessig stål, betongvegger og betongdekker.

BIM- bygningsinformasjonsmodell

CAD - Computer Aided Design

4D CAD - Computer Aided Design tilført tidsaspekt

4Dmikromodell – en detaljert 4D CAD til planlegging på mikronivå/produksjonsnivå.

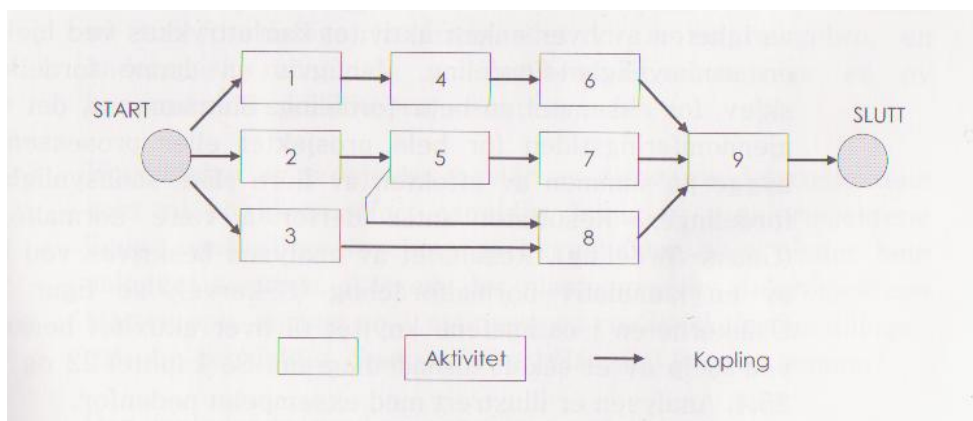
## 2. Teori fremdriftsplanlegging

### 2.1 Aktivitetsbasert og Stedbasert planlegging

Byggeprosessens kompleksitet er forsøkt ivaretatt på forskjellige måter i forskjellige planer. Aktivitetsbasert og stedsbasert planlegging er to måter behovene i en fremdriftsplan kan imøtekommes. Den aktivitetsbaserte er den mest dominerende metoden, og er i utstrakt bruk både i programvare og i arbeid. Stedbasert planlegging har eksistert like lenge, men har ikke hatt samme gjennomslagskraft fordi den har blitt ansett som kun grafisk metode uten røtter i vitenskaplig teori. Den har fått sin renesanse i den senere tid gjennom nye muligheter innenfor software og dataapplikasjoner, samt fordi flere og flere ser begrensningene i aktivitetsbasert planlegging. Aktivitetsbasert og stedsbasert planleggingsmetoder har to forskjellige utgangspunkt, men begge gir et innblikk i hva fremdriftsplanlegging blir ansett å være.

#### 2.1.1 Aktivitetsbasert og nettverksplanlegging

Den tradisjonelt dominerende fremdriftsplanleggingsmetoden er aktivitetsbasert planlegging uttrykt i forskjellige nettverksmetoder. Den bygger på en teori om at fremdriftsplanlegging er: ”å identifisere de aktivitetene som skal utføres, fastlegge varighet av dem og plassere aktivitetene i tidsmessig riktig rekkefølge i forhold til hverandre”(Kolltveit et al. 2009). De forskjellige aktivitetene som må gjennomføres er i fokus. Vi kjenner det igjen fra tradisjonell produksjonsteori innenfor industri der samlebåndets aktiviteter står i fokus. Aktivitetene blir ansett som det minste element i byggeprosessen som gjør det mulig for planleggeren å dekomponere prosessen og planlegge denne i nettverksdiagrammer (se figur 1) (Kolltveit et al. 2009).



Figur 1 Diagram for nettverksanalyse; (Samset 2008)

Planen konkretiseres ved å estimere flere utslagsgivende variabler. Prosjektets mål og hensikt ligger til grunn for det endelige produktet som prosessen skal realisere. Prosessen deles opp i aktiviteter som defineres og legges opp i ønsket rekkefølge. Rekkefølgen har stor grad av avhengighet mellom aktivitetene. For å klargjøre denne rekkefølgen er planleggeren avhengig av å estimere tidsforbruk og nødvendig ressurser aktivitetene trenger. Planen blir laget etter målrettet vurdering og estimering av aktivitetene, også slik at avhengigheten mellom aktivitetene blir ivaretatt (Kolltveit et al. 2009).



Planens resultat uttrykkes ved hjelp av diagrammer og tegninger. Disse er en grov forenkling av virkeligheten. Tradisjonsmessig er dette gjort i to dimensjoner, eksempelvis aktivitet og tid. Eksempler på dette er Gantt diagrammer. Denne type planleggingsmodell er svært mye brukt slik at den er godt innarbeidet i fagfeltet, men den begrenser detaljeringen av planene i forhold til viktige variabler som ressursbehov og lokasjon. En planleggingsmodell som får frem flere av byggeprosessens viktige variabler vil underforstått gi et bedre bilde av prosessen (Kolltveit et al. 2009).

Usikkerhet og styring av risiko er fokusområder innenfor byggenæringen, dette gjelder spesielt fremdriftsplanleggingen. Planen må ha rotfeste i virkeligheten, og er forutsetningene feilaktige vil dette få store konsekvenser. Dette er bakgrunnen for metodene innen nettverksplanlegging vi kjenner i dag som PERT (Program Evaluation and Review Technique) og CPM (Critical path method). I boken Prosjekt (Kolltveit et al. 2009) blir det hevdet at "det er rekkefølgen og avhengigheten mellom aktørene som oftest skaper størst usikkerhet". Denne avhengigheten kan eksempelvis være tegningsunderlag og leveranser tidlig i prosjektet, som ved en eventuell forsinkelse vil få konsekvenser for påfølgende aktiviteter. Usikkerhetsmomenter som ikke behandles underveis i prosessen kan skape forsinkelser som får store kostnader. I ytterste konsekvens kan prosjektets aktører ende i vanskelige økonomiske tvister, disse kompliseres fordi de økonomiske belastningene ikke lett lar seg kvantifisere. En nettverksplanlegging viser rekkefølgen og avhengighetene mellom aktiviteter, og i forskjellig grad behandler usikkerheten mellom disse (Kolltveit et al. 2009).

Nettverksplanlegging kan deles inn i tre grupper. Fra ca 1950 vokste det frem forskjellige tilnærminger til nettverksplanlegging. Disse kan skisseres som: "Enkel deterministisk analyse der varigheten av hver aktivitet anses som gitt"(1), "deterministiske metoder med enkel vurdering av usikkerhet"(2) og "stokastiske metoder der en betrakter forventet varighet for hver aktivitet som sannsynlighetsfordelt"(3)(Samset 2008).

Metode gruppe 1 er en typisk Critical Path Method (CPM). Som navnet sier identifiseres aktivitetene som må gjennomføres for måloppnåelse igjennom en "kritisk vei". Ved å dekomponere til aktiviteter og fastsette varighet av disse, kan summen av varighetene gi et estimat for prosjektvarigheten. Denne metoden tar ikke hensyn til usikkerhet, men ser kun på et estimat og erfaring (Samset 2008).

Metodegruppe 2 og 3 innehar en ytterligere behandling av sannsynlighet. I PERT metoden (Program Evaluation and Review Technique) blir varigheten på hver enkel aktivitet delt i en optimistisk og en pessimistisk tidslengde. Nettverket blir videre satt opp etter aktiviteter i logisk rekkefølge lignende Critical Path Method (CPM). Planleggingen kan også legge sannsynlighetsfordelinger til grunn for alle aktivitetenes varigheter, som i en stokastisk metode. Denne sannsynlighetsfordelingen bygger på trippel anslag med en kortets mulig, lengst mulig og mest sannsynlig tidsforbruk. Det gjør det mulig å simulere varighetens forventningsverdi, samt aktivitetenes spredning i eksempelvis en Monte Carlo/data simulering. Samlet prosjektid kan estimeres og planleggeren kan si noe om sannsynligheten for at den realiseres. Prosjektets varighet kan belyses ved bruk av sannsynlighet metoder (Samset 2008).

### 2.1.2 Stedbasert planlegging

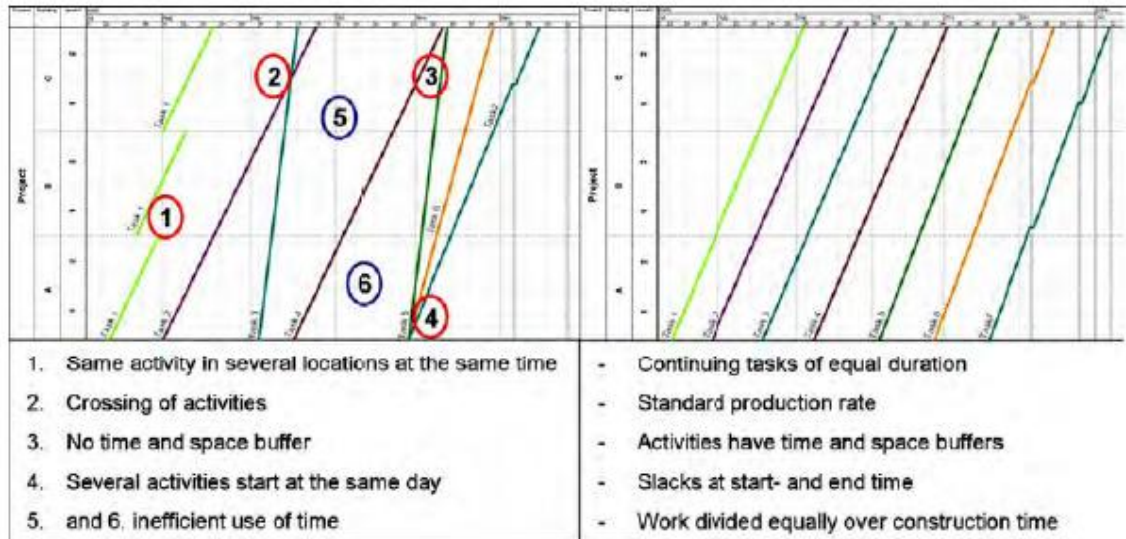
Stedbasert planlegging eller Location-based management dekomponerer prosjektets konkrete bygg ned i mindre lokasjoner eller soner. Disse lokasjonene blir på denne måten elementer med tilhørende bygningsdeler og utgangspunkt for planleggingen. Aktørene som skal utføre arbeidet forflytter seg derfor fra lokasjon til lokasjon slik at produksjonen flyter gjennom plasser i prosjektet. Denne metoden vil kunne forenkle en simulering av byggeprosessen. Ved at byggets lokasjoner defineres, og lokasjonenes tilhørende ”arbeidsbolker” blir laget, vil denne type planleggingsprosess legge et foretrukket grunnlag for den visualiseringen som denne oppgaven behandler. Denne type stedbasert planlegging skal ivareta kontinuitet og fokusere på økt produktivitet (Kenley & Seppänen 2010).

Denne planleggingstypen har eksistert lenge, men den har blitt ansett som en grafisk metode. Dette har ført til at den ikke har fått innpass i akademiske miljøer og heller ikke blitt utviklet i samme grad som aktivitetsbasert planlegging. I den senere tid, spesielt i finske miljøer, har det skjedd en utvikling. Resultatet av dette er blant annet en teoriutvikling om at stedbasert planlegging bygger på layered logic. Denne logikken er flere nivåer av den kjente Critical Path Metod(CPM) satt sammen i et interaktivt system. Dette innebærer blant annet interne og eksterne logiske sammenhenger mellom aktiviteter og plasser. Dette betyr at stedbasert planlegging har fått en teoretisk forankring i det som kalles layered logic (Kenley & Seppänen 2010).

Lokasjonene i en stedbasert planlegging blir rangert i et hierarki i en Location Breakdown Structure (LBS). Denne oppdelingen må tilpasses det enkelte prosjekt og den produksjon planleggeren har tenkt. Et viktig prinsipp er at lokasjoner må være logisk oppbygd slik at en etasje lenger opp i konstruksjonen inkluderer alle sine understående etasjer. En generell inndeling kan bestå av tre nivåer der øverste nivå kan være inndeling i frittstående bygninger eller deler som kan bygges uavhengig av hverandre. Dette nivået gjør det mulig å behandle produksjonen på et overordnet nivå. Det mellomste nivå kan være etasjer og dette nivået skal fremme produksjonsflyt. Det laveste nivå kan være leiligheter og kan brukes til detaljering (Kenley & Seppänen 2010).

Mengder fra de forskjellige lokasjonene blir kartlagt i lister kalt Bill Of Quantities (BOQ). Planleggerens arbeid blir å dele disse mengdene over alt arbeid som skal utføres på lokasjonen i logiske arbeidsbolker. Planleggeren må derfor ta stilling til om arbeidets art er slik at det kan utføres av et arbeidslag og fullføres på lokasjonen før arbeidslaget kan fortsette til neste plass. Tidsvarigheten av denne arbeidsbolken blir utgangspunkt for planen uttrykt i et Line of Balance diagram eller Flowline. Mengdene fra lokasjonene blir på denne måten en integrert del av den logiske strukturen (Kenley & Seppänen 2010).

Flowline og Line-of-balance er diagrammer som viser stedbasert planlegging. De har hierarkiet (location breakdown structure) på den vertikale akse, mens tiden er fordelt på den horisontale. Denne kan vise trender og er et kraftfullt hjelpemiddel i planleggingsarbeidet spesielt på overordnet nivå (Kenley & Seppänen 2010).



Figur 2 Line of Balance diagram;(Olofsson 2006)

## 2.2 BIM og 4D simulering - en plattform for raffinering

Vår tid har skapt helt nye muligheter i mange deler av samfunnet ved hjelp av IKT og informasjonsflyt igjennom datafiler. Innenfor byggeindustrien har Computer Aided Design(CAD) vært verktøyene hvor tegning og prosjektering har foregått i to og tre dimensjoner. Dette var klart et rasjonerende og kraftig hjelpemiddel. Ny software og kompetanse produseres i en kontinuerlig utviklingsprosess. I blant annet artikkelen "The Scope and Role of Information Technology in Construction" av Martin Fischer og John Kunz presenteres det flere av disse nye mulighetene. Her nevnes bygningsinformasjonsmodell (BIM) og 4D CAD som viktige verktøy i bruk av informasjonsteknologi i byggeindustrien (Fischer & Kunz 2004).

### 2.2.1 Bygningsinformasjonsmodell (BIM) - et effektivt verktøy

Bygningsinformasjonsmodell (BIM) er et relativt nytt og viktig verktøy i moderne byggeprosess. Den blir brukt av arkitekter, rådgivende ingeniører og entreprenører. Mulighetene i denne nye teknologien blir ansett som svært lovende og BIM er kanskje den viktigste utviklingen innen disse fag i senere tid. Den blir definert som "a modeling technology and associated set of processes to produce, communicate, and analyze building models" (Eastman 2008). I praksis blir dette en datafil som kan berikes med forskjellig informasjon for videre å distribuere denne enten i et åpent filformat (IFC), eller ved hjelp av konverteringsprogrammer. Denne berikelsesprosessen bør defineres gjennom en Information Delivery Model (IDM) eller BIMmanual slik at en effektiv utnyttelse av modellen oppnås. Hensikten med en bygningsinformasjonsmodell er at nødvendig informasjon i en byggeprosess skal bli effektivt behandlet (Eastman 2008).

Viktige prinsipper for bygningsinformasjonsmodeller (BIM) er at den skal være bygget opp av intelligente objekter. Disse skal ha lagret informasjon om hva de er, samtidig som de skal kunne visualiseres i en data og være bygget opp av redigerbare parametre. De lagrede data skal også kunne berikes med informasjon til bruk i forskjellige analyser og simuleringer og kunne beskrive objektets virkelige fysiske parametre. Modellen må også være konsistent da objektene må "vite" om sin avhengighet til andre objekter. Dette gjør at et "virkelig" digitalt bygg som modelleres, og denne kan bli visualisert fra alle vinkler gjennom manøvrering som i en virtuell verden (Eastman 2008).

### 2.2.2 4D CAD, en visuell simulering av en byggeprosess over tid.

4D simuleringer er en mulig berikelse og bruk av en ferdig bygningsinformasjonsmodell. Den gjør det mulig å simulere og evaluere en byggingprosess ved at geometriene/objektene fra bygningsinformasjonsmodellen kobles med de tilhørende tidspunkter for produksjon som finnes i fremdriftsplanen. Resultatet er en 4D CAD simulering som kan ligne en "film" som viser byggeprosessen fra start til slutt. 4Dmodellering blir "a process model in which 3D CAD models are visualized in a 4-dimensional environment" (Jongeling 2006). Den første og intuitive fordelene med dette er kommunikasjonsfordelene mellom prosjektmedarbeidere (Jongeling 2006).

BIM representerer det ferdige bygget, mens 4D CAD er den samme modellen bare dekomponert over byggeprosessens tid. På slutten av 1980 tallet ble det begynt å jobbe med

disse ideene. Utgangspunktet var blant annet svært komplekse infrastrukturprosjekter der risikoen for budsjett og tidsoverskridelser var svært høye. Dette skapte et behov for å kunne analysere på nye måter. Tidligere ble dette gjort ved en manuell prosess, hvor det ble tatt ”snapshots”/bilder av de forskjellige fasene for videre å sette de i rett rekkefølge. Det ble utviklet mer programvare på 1990 tallet som forenklet prosessen, mens vi har i dag en rekke programpakker med flere forskjellige funksjoner som forenkler modelleringen betraktelig (Eastman 2008).

I følge Eastman er det minst tre forskjellige måter å komme frem til en bygingsvisualisering i form av en 4D CAD. Metodene og programvare mulighetene har utviklet seg og skapt forskjellige veier som gir forskjellige 4D CAD modeller.

1. Den første er som tidligere nevnt en manuell metode som benytter seg av to- eller tredimensjonale tegningsverktøy. Planleggeren lager planen på tegninger med farger og koder for så å få planen visualisert gjennom bilder produsert i programmet. Disse bildene kan igjen animeres. Disse kan fungere godt inn mot markedsføring, men planleggerens behov for å oppdatere og endre gjør at denne metoden har sine begrensninger.
2. Tegneverktøy, som blant annet tegner bygningsinformasjonsmodeller, har utviklet applikasjoner inne i sine programmer som kan lagre tidspunkt til en bygningsdel. Ved at disse tidspunktene er koblet mot enkelt lag/tegninger, gjør det mulig å se på det laget som skal produsere i en gitt fase eller tid. Dette kan også i noen programmer linkes direkte mot en fremdriftsplan fra eksempelvis Microsoft-project fil. Dette gir en enkel inngangsport til 4D CAD, der konverteringer unngås. Likevel har denne metoden begrensede muligheter i forhold til automatikk og spesifisering. Dette kan forklare med at 4D CAD applikasjonen blir sett på som et tillegg og er ikke hovedfokus i programpakken.
3. 4D CAD verktøy må blant annet importere en tredimensjonal geometri og en fremdriftsplan. Programmet forenkler prosessen videre med å linke aktiviteter med konstruksjonsdeler. Videre kan prosessen detaljeres med foreksempel forskjellige indikasjonfarger slik at objektene får forskjellige farger ved start, under oppføring og fullført aktivitet. Det negative med disse programmene er at endringsmuligheter av objektene er svært begrenset da de er definert i andre program. Fordelene er enkle grensesnitt, automatiserte og raffinerte programfunksjoner (Eastman 2008).

### 2.2.3 4D CAD- mulige effekter

E. Pihl & Søn AS, blant mange, har gjort praktiske forsøk av 4D CAD bruk. De er et dansk entreprenørfirma og har i artikkelen ”3D planning”(Sigurdsson 2010) beskrevet sine funn og erfaringer ved et praktisk havneprosjekt i Beirut. De gjorde en oppgradering av sine tegninger fra todimensjoner til tredimensjoner og fremdriftsplanen i Gantt diagrammet til en 4D CAD. Effektene er som følger:

”one of the largest advantages of 3D planning is the overview it gives the viewer”(Sigurdsson 2010)

E.Pihl og Søn as peker først og fremst på det oversiktsbilde en person kan danne seg av byggeprosessen ved hjelp av 4D CAD. Visualiseringen inneholder alle fasene i byggeprosessen, og dette i korrekt rekkefølge. Simuleringen forenkler forståelsen av prosessen fordi den assosierer bygningsobjektene med aktiviteter og rekkefølge. Som seer (både prosjektdeltagere eller interessenter av prosjektet) kan vi raskt få et overblikk om hva denne bygningsprosessen omhandler (Kymmell 2008; Sigurdsson 2010).

”Specific parts of the project can be examined in order to get a better understanding” (Sigurdsson 2010)

4D CAD gjør det mulig å få frem det rommelige aspektet ved en byggeprosess og fokusere på spesielt aktuelle deler av produksjonen. Dette er spesielt viktig i kommunikasjon og optimalisering av en fremdriftsplan, men også svært aktuelt i analysen om hvordan byggeprosessen er mulig. Et tredimensjonalt inntrykk av prosessen kan gjøre det mulig å oppdage flaskehalser og kommende plassproblemer, samt forebygge feil og missforståelser. Dette var tidligere ikke mulig ved bruk av Gantt diagram eller lignende planer, samt kommunikasjonen av dette forenkles betraktelig (Eastman 2008; Jongeling 2006; Kymmell 2008).

”The content of a schedule frequently needs to be communicated” (Sigurdsson 2010)

Som overnevnte argumenter viser er den mest framtrepende fordelen med 4D er kommunikasjon. En visualisering er i førsteomgang kun en film der de rommelige aspekter blir forklart. Denne kommunikasjonen gjør det mulig å koordinere tidsforbruk, arealforbruk på forskjellige tidspunkt, spesielt trange og kritiske lokasjoner på byggeplass. En slik kommunikasjons plattform kan være grunnlag for å sammenligne forskjellige planer, lage ”hva om?” analyser og komme fram til optimaliserte planer. Den vil også kunne bidra til forståelse om prosjektet går etter planen (Eastman 2008).

En 4D simulering gjør det mulig å se på omkringliggende faktorer som vil bli påvirket av byggeprosessen. Ved å modellere en byggeprosess i en virtuell verden kan forskjellige variabler bli vurdert visuelt. Dette kan blant annet være hvordan byggeprosess i vil berøre området byggeplassen ligger i. Dette gjør det mulig å få et inntrykk av trafikksituasjonen rundt byggeplassen, heftelser for naboer og sikkerhetsmessige forhold. På dette grunnlaget er det enklere å få en forståelse fra omverdenen på hvordan og hvorfor ting blir som de blir, og ikke minst kan mennesker omkring forberedes på dette (Eastman 2008).

Byggeplasslogistikk kan enklere bli analysert og kommunisert med 4D CAD. Oversikt over materialflyt og arealbehov er en konstant utfordring på byggeplass. Ved bruk av 4D CAD kan disse faktorene berikes i modellen og resultatet kan gi en visuell hjelp til å lage en god og strukturert byggeplassplan, samt fremme forståelse av denne (Eastman 2008).

#### **2.2.4 Utfordringer i møte med 4D CAD**

4D CAD har også en rekke kritiske utfordringer, blant annet hvordan modellen praktisk er bygget opp. Objekter i en BIM modell er ofte laget uten tanke på produksjon. Veggobjekter kan strekke seg over flere etasjer og dekker er like brede og lange som huset. Dette gjør de

uegnede å importere direkte i en 4D CAD modell. Produksjonen av et betongdekke kan for eksempel være delt i tre etapper, mens objektet som visuelt skal beskrive dette er ett. Nødvendigheten av å redigere objekter og reorganisere dem er helt essensielt (Eastman 2008).

I de fleste programmer er 4Dmodellen et resultat av en definert fremdriftsplan og det medfører at endringer direkte i modellen ikke fører med seg automatisk oppdatering av fremdriftsplanen. Koblingen mellom fremdriftsplan og 4Dmodellen er ensrettet og direkte mellom aktivitet og objekt. Allerede i 1996 hadde forskere ved CIFE (Center for Integrated Facility Engineering) laget en programplattform som skulle ivareta en interaktiv 4Dmodellering. Likevel er det antatt at Vico Project Control er mulig det eneste programmet som ivaretar dette på markedet i dag. Dette gjøres i Vico ved å ta i bruk mengdene i modellen skaper en toveis oppdatering. Denne automatiske koblingen mellom modell og fremdriftsplan gjør at endringer, uansett del, blir automatisk oppdatert noe som er en funksjon spesielt for dette programmet. En utfordring i møte med 4D CAD kan være at endringer i modellen ikke får automatiske konsekvenser for fremdriftsplanen siden disse ikke er koblet for toveis korrigerings(Kymmell 2008; McKinney et al. 1996).

For at 4D effektene skal kunne optimaliseres må entreprenør tidlig inn i planleggingsprosessen. Dette gjør det mulig å få produksjonsvennlige konstruksjoner, og bygningsinformasjonsmodeller med hensiktsmessig objektinndeling i forhold til 4D CAD modellering. Kontrakter og avtaleprosesser som benyttes i dag gjør det vanskelig å få med entreprenørenes synspunkter inn i en tidligfase. DBB (Design,Bid,Build) avtaleprosess, der entreprenøren begynner etter at et anbud (bid) er vunnet, er et eksempel på en avtaleprosess som kan være begrensende. En DB prosess(Design, Build), der prosjektets designere også er med inn i produksjonen, ville kunne gi et større utbytte av 4D CAD fordi entreprenøren har mulighet til å påvirke arkitekt med konstruksjonsmuligheter og modelloppbygning. Disse to prosessene er en grov inndeling, men fremhever forskjellene. I virkelighetene er nyansene mange. Konsern som AF Gruppen har for eksempel egne eiendomsprosjekter som de utvikler mer etter DB (Design,Build) prosessen, mens de også er med i anbudsrunder om kontrakter på hovedentreprise form. De forskjellige avtalene skaper forskjellige muligheter for bruk av 4D CAD (Eastman 2008; Scheele 2011).

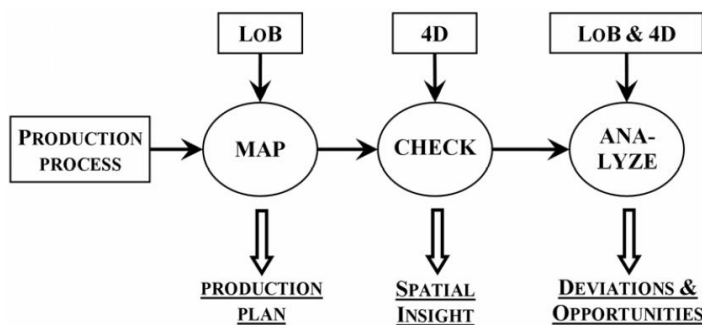
### 2.2.5 4D CAD i planleggingsprosess

Planlegging av en byggeprosess har mange løsninger og kombinasjoner av flere teorier kan være med på å belyse dette komplekse problemet. Rogier Jongeling har utviklet en planleggingsteori som bygger på Lean Construction og Virtual Design and Construction. Sistnevnte er blant annet verktøy som behandler prosjektet med bygningsinformasjonsmodell (BIM) og 4D CAD. Dette trekker inn de romlige aspektene ved aktivitetene på byggeplass, noe som er helt essensielt for at arbeidsflyt i byggeprosessen skal oppnås. Teorien deler opp planleggingsprosessen i to nivåer; makro- og mikro nivå. Disse to nivåene inneholder forskjellige kombinasjoner av teorier(Jongeling 2006).

*Makroplanlegging* er planlegging på et overordnet nivå lik den prosessen som utføres før produksjonen skal starte. Verktøyene som kombineres er stedbaset planlegging og 4D CAD. Dette arbeidet har hensikten å tilse at den overordnede flyten av arbeid ivaretas. 4D CAD

modellen er spesielt viktig i en analyse av konstruksjonens produksjonsvennlighet. Dette blir en sirkulerende prosess der planen først blir laget ved hjelp av stedbasert planlegging og Line-of-balance diagram for så å bli visualisert i en 4D CAD (se figur 7 og vedlegg:

*Planleggingsprosess makronivå*). Visualiseringen, en 4D makromodell, skal danne grunnlag for en optimalisering og endring av planen. Når optimaliseringen er foretatt er den overordnede "hovedfremdriftsplanen" laget og uttrykt gjennom et Line-of-balance diagram og en 4Dmakromodell (Jongeling 2006; Olofsson 2006).



Figur 3 planleggingsprosess makronivå; (Jongeling 2006)

*Mikroplanlegging* tar utgangspunkt i makroplanleggingen og er et verktøy for å planlegge og kontrollere produksjonen på byggeplass. Den praktiske utførelsen av en byggeprosess lar seg vanskelig illustrere i planer og visualiseringer på makronivå. I en mikroplanlegging trengs det derfor en ytterligere detaljering av planene som får frem forutsetningen for de aktiviteter som skal utføres. Tidsperspektivet er 1-3 uker og verktøyene er Last planner™ system (se Lean Construction) og en 4D mikromodell. Last planner™ legger vekt på at det er spesielt sju forutsetninger for at en aktivitet skal gjennomføres. Disse lar seg vanskelig illustrere både i en stedbasert planlegging og de 4D CAD modellene som benyttes på makronivå.

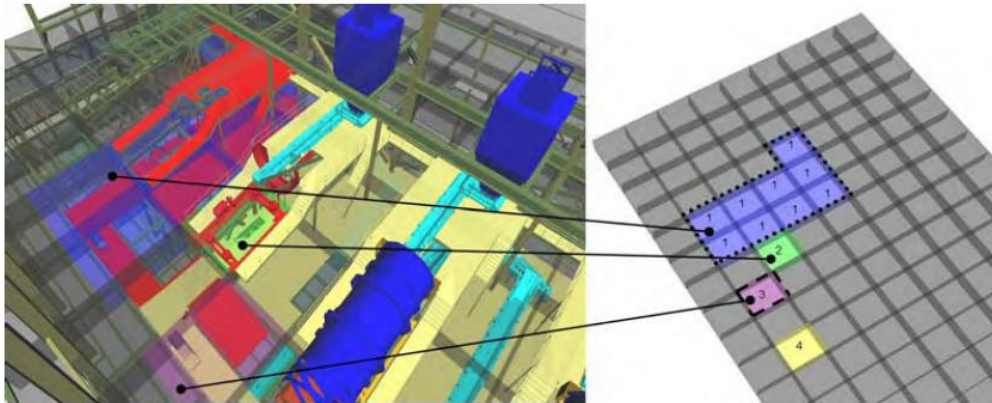
Planleggingsprosessen blir derfor at oppgavene som skal utføres i tidsperioden blir hentet fra makroplanleggingen og lagt inn i en 4Dmikromodell. Ved hjelp av en berikelses av detaljer i 4Dmikromodellen kan planleggeren fokusere på forutsetningen for at oppgavene skal kunne gjennomføres sikkert og effektivt (se Last Planner™). Det blir også lagt vekt på at produksjonen skal optimaliseres. En planlegging av produksjonen kan bli utført ved hjelp av en 4Dmikromodell etter Last Planner™ systemet (Jongeling 2006).

Jongeling foreslår altså en ny type 4D CAD kalt 4Dmikromodell. Den er i utgangspunktet utdrag av 4D makromodellen, men må detaljeres i høyere grad for å ivareta planleggerens behov. Spesielle plasser som anses som kritiske kan bli detaljert ytterligere. For å kunne foreta analyser av plassbruk kan 4Dmikromodellen reduseres til volumer. Dette gjøres ved bruk av et tredimensjonalt nett av volumer over byggeplassen. Volumenes størrelse reflekterer den plassen som aktiviteten trenger som arbeidsplass, utstyrs plass og temporære konstruksjoner (se figur 3). Disse blir så plassert ut ved hjelp av de aktivitetene og plassene som er definert i 4D makromodellen. Volumene blir også fordelt i tid med intervaller på en dag. Dette gjør det mulig å manøvrere seg gjennom produksjonen dag for dag.

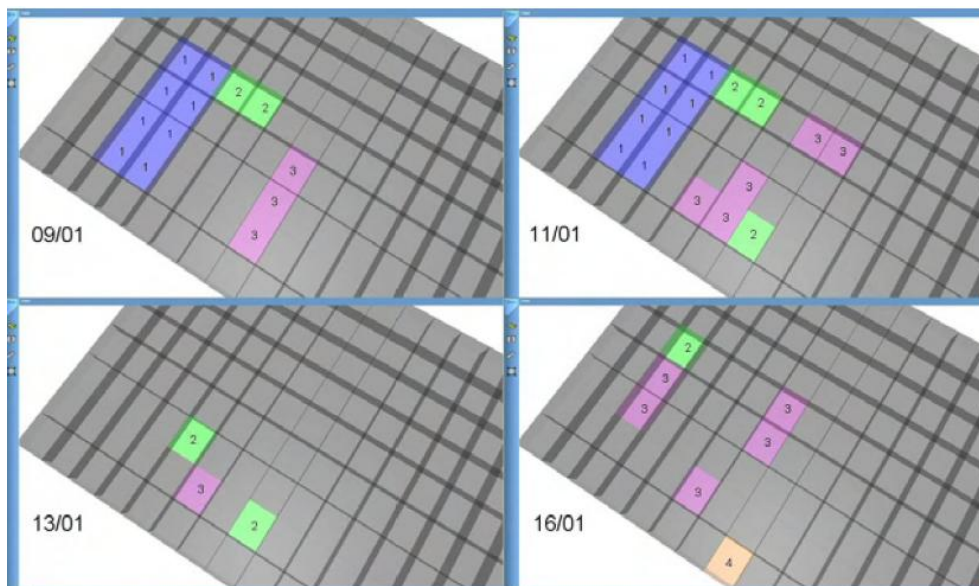
4Dmikromodell kan på denne måten få et analyserbart innhold som visuelt definere størrelsen og fordelingen av den plassen som aktørene på byggeplassen vil bruke hver dag gjennom den



aktuelle perioden (se figur4)(Jongeling 2006).



Figur 4 Kobling mellom 4Dmikromodell med og uten volumer; (Jongeling 2006)



Figur 5 4Dmikromodell med volumer til vurdering;(Jongeling 2006)

4D mikromodellen med volumer kan være grunnlag for analyse og optimalisering av byggeprosessen. Planleggingen på mikronivå legger opp til en sirkulerende prosess der modelleringsprosessene repeteres gjennom tidsperioden. Dette betyr at aktivitetene i planen kan endres og konsekvensene av disse endringene kan vurderes i Line-of-balance diagrammet og 4D makromodellen. 4D mikromodellen med volumer vil i dette arbeidet gjøre det mulig å se de plassrelaterte konsekvensene av endringer i planen. Planleggingsarbeidet på de forskjellige nivåer henger nøye i sammen og analyser av de forskjellige modeller og planer vil i sammenheng ivareta en optimalisering av byggeprosessen (Jongeling 2006).

### 2.3 Praktisk risikostyring i byggeprosess

Planleggingen på produksjonsnivå i AF Bygg Oslo bør ta opp mange elementer til en risikovurdering. Dette gjelder alle elementer som kan si noe om valgkonsekvens i positiv eller negativ retning, henholdsvis kalt muligheter og risiko. Produksjonen står ovenfor en rekke utfordringer som må behandles og fokuseres. Dette gjelder spesielt forutsetninger for driften. Mulighetene som prosjektet eller fremdriften avdekker kan gi en mer optimalisert måte å gjennomføre prosjektet, mens forsinkelser og utfordringer trekker fram de negative usikkerhetsmomentene. All planlegging vedrørende framtid må beskjefte seg med situasjonene som kan oppstå. Av den grunn bør prosessens elementer fokuseres i en risikovurdering og behandles underveis gjennom styring av risiko.

Risikostyring er et viktig tema innenfor byggeindustrien og blir blant annet brukt mye i tidlig fase av prosjekteringen. Risiko kan defineres som konsekvens av en hendelse multiplisert med sannsynlighet for at hendelsen inntreffer. Fremdriftsplanlegging er også direkte berørt av risiko da det finnes usikkerheten vedrørende framtidige hendelser i byggeprosessen. Samset (2008) skriver at fremdriften har usikkerhet grunnet ”planleggingen, tilretteleggingen og styringen”. Disse blir analysert igjennom nettverksanalyse som CPM og PERT (se aktivitetsbasert nettverksplanlegging), som i hovedsak går på tidsestimeringer. Kenley & Seppänen definerer risiko i plansammenheng som: ”Risk is a stochastic assessment of the likely success or failure of a plan”(Kenley & Seppänen 2010). Risiko og usikkerhetshåndtering kan være avgjørende for alle ledd i en byggeprosess, dette gjelder også betongdriftsplanlegging (Baggetorp 2011; Kenley & Seppänen 2010; Samset 2008).

For å oppdage elementer i framtiden må disse bevisst identifiseres. I Samset 2008 blir ulike typer case-studier og scenarioteknikker foreslått for å analysere slike problemer systematisk, men i produksjonssammenheng må detaljbehovet vurderes. I store risikofylte prosjekter der det jobbes med den essensielle ”driveren”, eksempelvis komplekse bærende konstruksjoner, kan denne detaljeringen være nødvendig. På et praktisk plan er det heller behov for å rette fokus på utfordringene og en grovanalyse av usikkerheten kan være hensiktsmessig.

En slik grovanalyse kan gjennomføres etter følgende trinn:

1. Identifisere de elementer som påvirker fremdriftsplanen og gjennomføringen av denne.
2. Klassifisere elementene i liten eller vesentlig konsekvens, og høy eller lav sannsynlighet for at hendelsen inntreffer.
3. Usikkerhetselementene med liten konsekvens kan elimineres.
4. Vurdere de resterende elementer:
  1. Fatal risiko - er elementer som gir lav sannsynlighet for planen kan realiseres (tiltak: forkast planen eller gjennomføre store endringer).
  2. Vesentlige muligheter - er elementer som gir økt sannsynlighet for at planene realiseres.
  3. Reel risiko- er de resterende elementene. Disse bør planlegges, overvåkes, påvirkes og rapporteres slik at de styres gjennom prosessen.

(Samset 2008)

### 2.3.1 Usikkerhets elementer under produksjons av betong.

Usikkerhet til planen av en byggeprosess kan kategoriseres i åtte bolker. Kenley og Seppänen har laget overordnede kategorier som kan konkretiseres med betongteknologi. Det går et skille mellom direkte og indirekte faktorer til produksjonen noe som skaper forskjell i hvilken grad de kan påvirkes av planleggeren. Produksjonssystem er her tenkt som alle deler av en produksjonsprosess satt i system etter fremdriftsplanen. Usikkerhet til planens gjennomføring kan oppstå av følgende årsaker:

1. Vær - og miljømessige hensyn skaper en stor og vanskelig usikkerhetskilde i fremdriftsplanlegging. Den er spesiell i forhold til de andre kategoriene fordi den påvirker indirekte usikkerheten i produksjonssystemet og må derfor i stor grad takles underveis. I forhold til betongproduksjon er temperatur og luftfuktighet/regn viktige parametre. Temperatur påvirker betongens herdeprosess og vil direkte påvirke betongproduksjonens hastighet. Dette kan påvirkes ved henholdsvis oppvarming eller isolert forskaling ved kalde temperaturer, eventuelt avkjøling ved tildekking eller vanning ved varme temperaturer. Begge sider er kritiske fordi det ved for høye temperatur vil få oppsprekking av betongen og ved for lav temperatur ikke oppnår ønsket fasthet. Andre konsekvenser av været kan være snø, der ekstraarbeid må påberegnes for å komme til arbeidslokasjonene, eller regn som kan være uheldig for betongens vann/ementforhold og spille direkte inn på betongens slutfasthet.
2. Behov ved arbeidsstart kan skape usikkerhet ved at det oppstår forsinkelse fordi forholdene ikke ligger tilrette ved produksjonsstart. Det kan være manglende ferdigstilling av forrige aktivitet, forsinkede leveranser, manglende ressurser eller tegningsunderlag. Betongproduksjonen er avhengig av alle disse, både før og underveis i en støpetappe, og de kan skape store forsinkelser siden støpetappene trenger gitte herdetider.
3. Tillegg av ressurser på byggeplass. Dette kan spesielt rettes mot bemanningen og økningen av arbeidslag. Det oppstår ved behov for økning i produksjonshastighet eller ved oppstart av arbeid. Kenley & Seppänen, med grunnlag fra planleggingsingeniører, mener at det er 50 % sannsynlig for at slike ressurser kommer når de er planlagt. Av enkle grunner som at de er opptatt i andre prosjekter eller tenker at det ikke er nødvendig å komme 100 % fra starten. Gjentakende forsinkelser ved et prosjekt vil øke denne effekten og skape mistro til fremdriftsplanen.
4. Erfaringstall er usikre da de er empirisk bestemt på et generelt grunnlag. Dette kan variere mye mellom arbeidslag og vanskelighetsgraden av selve oppgaven. Under produksjon av betong kan produktiviteten overvåkes ved at produserte kvadratmeter med betong loggføres. Dette kan gi en indikasjon på om de erfaringstall som er brukt i planleggingen stemmer og samtidig kontrollere produksjonshastigheten. Redusert produksjonshastighet kan forekomme på grunn av opplæring, mange vinkler/hjørner i konstruksjonen og andre konstruksjonsavhengige utfordringer.
5. Mengdeuttak kan forårsake feil i planen. Denne posten er forenklet ved dagens bruk av bygningsinformasjonsmodell (BIM) i mengde beregning, men det må fortsatt tas høyde for feil i modellen. Dette gjelder spesielt ved endringer i tegningsunderlaget. Disse kan være vanskeligere å oppdage siden prosessene blir mer automatiserte.

Betongmengdene er en vesentlig kostnad og av stor betydning for framdriften slik at denne har høy konsekvens selv om sannsynligheten for at den inntreffer er lav.

6. Tilgjengelige ressurser er direkte avgjørende for produksjonshastigheten. Er det for lite tilgjengelig arbeidskraft vil dette forsinke fremdriften. Konkret ved at en underentreprenør ikke har nok folk til å følge produksjonshastigheten. Det motsatte tilfelle kan forekomme hvis underentreprenør har for lite arbeidsoppgaver i andre prosjekter slik at det blir et ønske om å bemanne opp på byggeplassen. Dette vil igjen føre til økt fremdrift i forhold til planen og vil kunne skape ubalanse i produksjonen (kø). Betongproduksjonen er direkte berørt av ressurser både menneskelige, utstyrmessige og materialmessige. Eksempelvis ved at det kommer for mye/for lite ferdig betong til byggeplassen eller det mangler arbeidslag til å utføre arbeidet raskt nok.
7. Plassbestemte faktorer kan påvirke om en fremdriftsplan treffer. Oppstår det plassrelaterte problemer eller problemer med en vanskelig operasjon vil dette kunne påvirke usikkerheten om fremdriften vil holde tidsplanen. Betongproduksjonen er en spesielt plasskrevende aktivitet. For eksempel benyttes det i denne produksjonen flere temporære konstruksjonselementer som forskaling og disse tar stor plass. Samtidig skaper dette mange utfordringer i forhold sikkerhet.
8. Kvalitetsrelaterte usikkerheter kommer da det produserte objekt ikke oppnår spesifikke krav. Dette kan oppdages raskt og medføre mindre omgjøringsarbeid innenfor et fagfelt. Blir det oversett kan det få store økonomiske, og også framdriftsmessige konsekvenser, når mange fag må inn å gjøre arbeidet på nytt. Den ferdigstøpte betongen kan sprekke, eller det kan være mangler ved utførelsen som gjør at det må støpes på nytt eller utbedres på annen måte.

(Betongteknologi ; Kenley & Seppänen 2010)

## 2.4 Lean – en ny generasjon produksjonsteori.

Fra 1980-tallet startet bilprodusenten Toyota å utvikle nye produksjonssystemer som kan sammenfattes med ”Does more with less”(Kenley & Seppänen 2010). En bedre produksjonsprosess skulle oppnås ved å fjerne de ledd fra produksjonen som ikke gav merverdi, samtidig som fokuset ble rettet på et optimalisert produkt for sluttbruker. Denne teorien har i den senere tid blitt overført til byggeindustrien under navnet Lean Construction og den antas å ha relevans for en utvikling av produksjonen hos en entreprenør som AF Bygg Oslo (Kenley & Seppänen 2010).

Dette fagfeltet har vokst og har i dag teorier inn mot så godt som alle fasene av en byggeprosess. Blant annet ble det i 1993 dannet The international group for Lean Construction, som har internasjonale konferanser om Lean(*International Group for Lean Construction [online]*). Det har også blitt dannet et Lean Construction Institute som samhandler og utvikler teorier, samt implementering av disse i alle ledd i byggeindustrien(*Lean Construction Institute [online]*). I Norge har miljøet vokst omkring FAFO der det spesielt blir jobbet inn mot bygg og skipsbyggingsindustrien (*Lean construction NO, nettverk for prosjektbasert produksjon [online]*). Lean prinsippene gir store muligheter, og er en av de viktigste utviklingsområdene i fagområde prosjektledelse (Kenley & Seppänen 2010).

### 2.4.1 Lean Construction er en trimmet byggeprosess

Lean Construction prinsipper er å *maksimere verdi, minimere feil/avfall og få prosjektet gjennomført*. Målet er å skape en pålitelig flyt av materialer og arbeid i prosjektet slik at hele prosjektprosessen går så optimalt som mulig. Innenfor fremdriftsplanlegging er prinsippene pull/trekke prosess og flow/flyt prosess spesielt interessante. Dette muliggjør en eliminering av flaskehalser og hindringer. Av andre prinsipper er verdi (skape riktig produkt), verdistrøm (nødvendig ledd for måloppnåelse) og optimalisere (kontinuerlig forbedring). Alle disse prinsippene ligger under Lean teori og forsøker å skape en trimmet prosess (Bertelsen 2003; Eastman 2008; Kenley & Seppänen 2010).

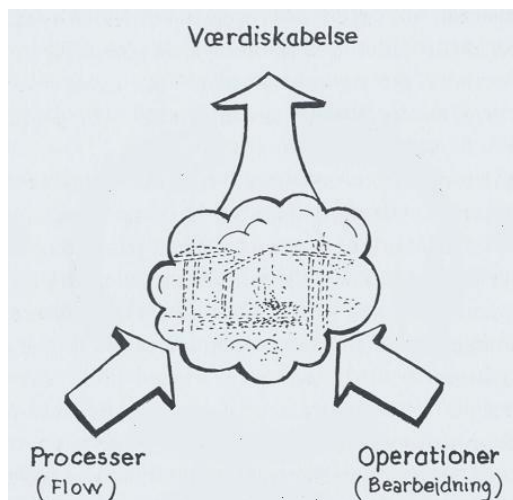
### 2.4.2 Pull eller Push, skal planen trekkes fra eller presses på byggeplassen.

Det er en fundamental forskjell mellom den eksisterende holdning til planer i byggebransjen og det perspektivet som introduseres i Lean Construction. Tradisjonelt skal planene som lages være korrekte og kunne følges direkte. Dette gjør at planens aktiviteter skal ”presses ut” i livet. Fokuset i planene blir derfor en detaljering som ikke nødvendigvis er i overensstemmelse med de faktiske vilkår som opptrer på byggeplassen. I Lean Construction blir denne detaljeringen ansett som en tilnærmet umulig oppgave, holdningen til at en plan skal være korrekt blir forkastet og perspektivet må derfor vendes. Det nye perspektivet blir at det er produksjonen på byggeplassen som ”trekker” planen ved at en ferdigstilt aktivitet trekker neste aktivitet, alternativt at en tom sone som ”trekker” ny arbeidsbolk. En fastlagt plan er ikke nødvendigvis en optimal plan, og det antas at det er hensiktsmessig at produksjonen følger byggeplassens kriterier og forbedres ut fra fokus på disse (Kenley & Seppänen 2010).

Målet for dette trekkende perspektiv er at produksjonen skal gå i et naturlig tempo. Det ferdigstilte frigir ressurser som trekker oppgaver. Oppgavene trekker igjen sine nødvendige forutsetninger. Dette skaper et naturlig sug i produksjonen basert på prosessens kriterier og produksjonen kan foregå i det tempo som de planlagte ressursene tilsier. Dette kalles flyt eller arbeidsflyt, og er et overordnet mål i prosessen. Det er ikke planen som bestemmer produksjonshastigheten, men de forutsetninger som faktisk eksisterer på byggeplassen (Bertelsen 2003).

### 2.4.3 Flyt i byggeprosessen

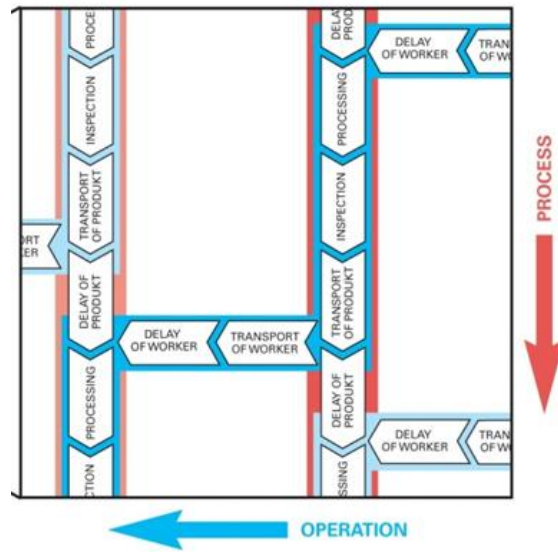
Fokus på flow/ flyt er et utviklingstrekk som anses viktig i en optimalisering av nåværende produksjon hos entreprenør. Dette er et mer sammenfattende begrep som er i utstrakt bruk innenfor mange fagfelt. Oxford Advanced Learner's Dictionary definerer (oversatt) "å flyte" som "å bevege fritt og kontinuerlig", og vi kan sammenligne dette med hydrodynamikk der vannstrømmen analyseres. I Lean Constructinon har Lauri Koskela laget en TFV-model (transformation, flow, value), se figur 5. Denne modellen beskriver ikke hva flyt er, men ser heller på hvordan flyt i prosessen kan oppnås. Ved å få produksjonen hos entreprenør til å "flyte" gjennom fokus på operasjoner, prosesser og verdiskapelse kan en optimalisering forekomme (Kalsaas & Bølviken 2010).



Figur 6 Byggeprosessen 3-perspektiver, (Bertelsen 2003)

Teoriene og ideene som preger Lean Construction er inspirert av produksjonsindustrien, som har jobbet med disse problemene gjennom generasjoner. Japansk produksjonsteori, og spesielt Shigeo Shingo, har fått en spesiell oppmerksomhet. Shingo var en viktig inspirasjon til Toyotas produksjonsutvikling, men reiste også verden rundt for å optimalisere fabrikker. Han gav ut flere bøker om temaet, men spesielt i boken "Non-stock production: The Shingo system for continuous improvement" bemerker han hvordan vestlig industri har missforstått prinsippene bak den nye produksjonsteorien. Det er spesielt to teorier vi skal merke oss

- Vestlig forståelse av prosess og operasjon preges av størrelser. I operasjoner fokuseres det på del-ledd, mens i prosessen blir disse del leddene lagt sammen. Dette betyr at de kan beskrives langs samme akse i et koordinatsystem. Dette hevder Shingo er feil fordi det er et ønske å skille mellom prosess og operasjoner. Prosess er i hans øyne synonymt med verdiskapelsen. Det betyr de prosesser som gir merverdi til produktet. Operasjoner er de enkelte ledd som er fysisk ”nødvendige” for



Figur 7 Prosess og operasjoner i et diagram etter Shingo. (Kalsaas & Bølviken 2010)

- produksjonslinjen. Et eksempel kan være transport mellom bearbeidelsesmaskiner. Denne transporten gir ikke merverdi og er sett i ”prosess-perspektiv” som unødvendige og må elimineres. For å illustrere denne forskjellen mellom prosess og operasjon lagde Shingo et todimensjonalt koordinatsystem med prosess og operasjon/drift på aksene (se figur 6). Shingo sitt diagram belyser flere av prosessenes deler som produksjon, inspeksjon, forsinkelse, forflytning og indirekte arbeid. Forståelsen av prosess og operasjoner som to forskjellige faktorer, med klare sammenhenger, er helt nødvendig for å kunne analysere og optimalisere en produksjon (Shingō 1988).
- Lagre, eller buffere, blir sett på som et nødvendig onde i vestlig produksjonsforståelse. Det gir de nødvendige tidsspillerom slik at operasjonene kan fungere optimalt. Shingo hevder at buffere/lagre er et absolutt onde og må for enhver pris identifiseres og elimineres. Han hevder at buffere fungerer som et ”narkotika” på produksjonen og gjør at utviklingen av en optimalisert produksjon stopper. Just-in-time produksjon er et alternativ til disse buffere og det er hevdet å gi en bedre flyt, samt en enklere identifisering av flaskehalsene i produksjonen (Shingō 1988).

Lean Construction fokuserer på arbeidsflyt ved at ferdig arbeid trekker neste oppgave. Dette fører til et fokus på mønstre i arbeidsflyten, i tillegg til de interne oppgavene hver aktivitet krever. Dette mønsteret kan være kjeden av arbeid innenfor, og mellom, de enkelte fagfelt. Denne fokuseringen skal føre til unngåelse av unyttig ressursbruk i forhold til produksjonsstopp (tidsforbruk), dobbeltarbeid (tid, materialer, arbeidskraft) eller retting av feil. Et fokus på helheten i produksjonskjeder skal føre til en bedre arbeidsflyt (Kenley & Seppänen 2010).

Begrepet flyt blir forstått på forskjellige måter. I et aktivitetsbasert perspektiv kan flyt beskrives som produksjon i en fabrikk, der delvis fullført arbeid ”flyter” igjennom produksjonsprosessene. Dette betyr at det tilstrebes en ”produksjonslinje” som er godt

synkronisert og ”strømlineformet” uten for store fysiske forflytninger. Flyt blir i denne tilnærmingen vurdert som et kontinuerlig behov for klargjorte arbeidsoppgaver etter aktivitet rekkefølgen i en ”kritisk vei”(CPM). Dette gjør at materialer, personer eller halvferdige oppgaver ikke blir stående. I stedbasert tilnærming blir flyt ansett som en arbeidslagsflyt eller en flyt av ressurser igjennom byggets forskjellige lokasjoner slik at alle lokasjonens behov for gjennomføring ligger som nøkkelen for flytoppnåelse. Definisjonene av flyt er altså ikke implisitt definert i Lean Construction, men flyt er et overordnet mål i all planlegging. Kalsaas & Bølviken adopterer definisjonen til Shingo: ”flow is seen as a chain of events”. Det er mer eller mindre flyt i en produksjonsprosess, og planleggerens mål må være en optimal flyt (Kalsaas & Bølviken 2010; Kenley & Seppänen 2010).

#### **2.3.4 Bygningsinformasjonsmodell i praktisk bruk etter Lean Construction**

Bruk av bygningsinformasjonsmodell(BIM) kan forbedre alle fasene i en byggeprosess, og dette gjelder også en implementering av Lean Construction. Ved bruk av bygningsinformasjonsmodellen som i planleggingen vil aktørenes tilgang til nødvendig informasjon forenkles. Dette kan forbedre samarbeid på tvers av team fra alle byggets produksjonsfaser og på denne måten skape en mer helhetlig prosess som fokuserer på verdi. Blant annet gjør den kontinuerlige tilgangen til informasjon at oppdaterte tegningsunderlag kan hentes av de som trenger det, når de trenger det. Dette gjør det også mulig å hente ut nødvendige tegninger etter behov og slik at tegningene ikke må produseres før behovet er tilstede (pull prinsippet). Dette kan øke kvaliteten på informasjonen fordi ferdigstillelsen av tegningene kan forskyves i prosessen til et tidspunkt da flere av forutsetningene er fastsatt. BIM kan bli et viktig verktøy i utviklingen av Lean-Construction i byggeindustrien (Eastman 2008).

Bygningsinformasjonsmodell muliggjør ved hjelp av 4D CAD teknikker å forbedre arbeidsflyten. Ved å benytte Last Planner™ systemet og en steg for steg visualisering av planen kan fremdriftsplanen optimaliseres. Denne visualiseringen kan belyse ”romlige, logiske og organisatoriske konflikter” (Eastman 2008). Resultatet er at utfordringer i produksjonen kan diskuteres i felleskap mellom aktørene, med en bygningsinformasjonsmodell som plattform, slik at forståelse og enighet kan oppnås. Dette samarbeidet og aktørenes direkte medvirkning kan gi en forbedret ansvarsbevissthet, noe som er helt essensielt for en optimalisert byggeprosess (Eastman 2008).

#### **2.3.5 Last planner™- Lean Construction på produksjonsnivå-i korte trekk**

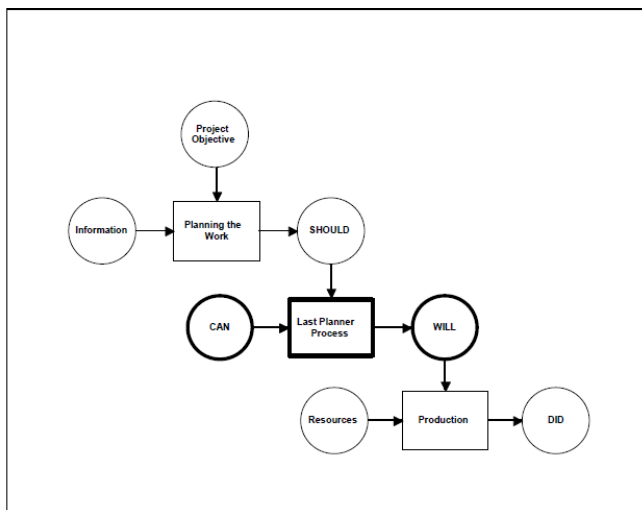
I en planleggingsprosess vandrer planen gjennom fasene fra et overordnet perspektiv til et lavere og mer spesifikt nivå. Planleggere gjennom hele prosessen produserer planer frem til den dagen planene skal settes ut i praksis. Den personen som står for denne siste planleggingen, fra plan til det utførende, er ”the Last Planner”. Denne personen får en rekke utfordringer når planene ikke er tilstrekkelige. For å møte disse utfordringene har det blitt utformet en planleggings filosofi: Last Planner production control system. I Glenn Ballards doktoravhandling ”THE LAST PLANNER SYSTEM OF PRODUCTION CONTROL” blir metoden beskrevet(Ballard 2000).



For å svare på utfordringen ved den praktiske produksjonen er det, i denne teorien, definert to teoretiske deler:

- Den første delen er ”produksjonsenhetskontroll” som retter fokus på arbeidsbolken eller produksjonsenheten. Gjennom produksjonsenhetskontroll skal aktivitetene kontinuerlig forbedres ved å lede aktørene til fokus på optimalisering og forbedrende tiltak. Kvaliteten på enhetene skal ivaretas ved blant annet kontroll av at aktiviteten er korrekt definert, samt at de er i logisk samsvar med det som faktisk skal utføres. Planenes pålitelighet kontrolleres ved å måle ”Percent Planned Completed”(PPC)/prosent planlagt utført. Denne kontrollen blir gjort ved planens periodeslutt og er denne lav blir det gjort en grundig årsaksvurdering.
- Den andre delen er ”arbeidsflytkontroll” og skal koordinere forutsetningene for produksjonsenheterne. Gjennom en ”forutseende” prosess kan blant annet arbeidsflyten formes gjennom sekvensinndeling og riktig produksjonshastighet. Arbeidsflyten skal også passe den kapasiteten som eksisterer på byggeplassen. Gjennom å komponere aktivitetene fra en overordnet plan inn i arbeidsbolker og operasjoner kan dette arbeidet utføres og resultere i en forutseende periodeplan. I dette arbeidet blir det også noter ned reservearbeidsbolker som ikke direkte vedrører arbeidsflyten, men som kan utføres ved ledige ressurser.

I Last Planner™ system blir produksjonen på byggeplass ivaretatt gjennom produksjonsenhetskontroll og kontroll av arbeidsflyten, og prosessen er illustrert i figur 7 (Ballard 2000).



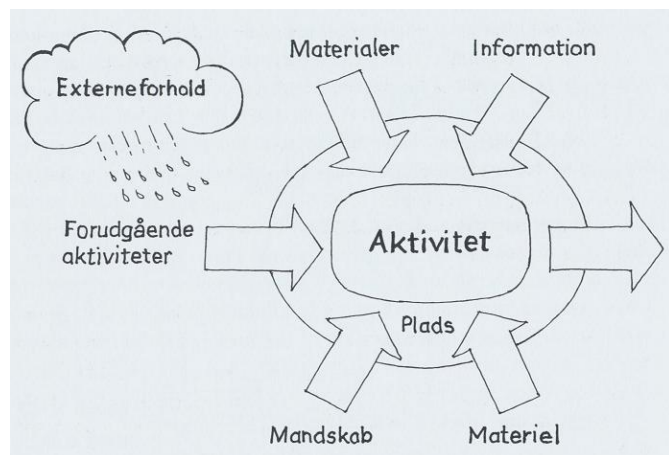
Figur 8 Last Planner™ system prosess; (Ballard 2000)

En praktisk løsning, av Last Planner™ filosofien, er å lage en plan for en kortere periode, eksempelvis en uke. Den presenterte tilnærmingen i denne oppgaven er hentet fra en dansk teori kalt ”Trimmet byggeri” av Sven Bertelsen. Dette er en ukesplan som kan kalles ”rullende” fordi den defineres underveis i byggeprosessen. I dette arbeidet er det de utførende aktørene fra byggeplassen som har ansvaret for å sette opp kommende ukes ”sunne” arbeidsbolker fra den forutseende periodeplanen. Fokuset for denne ukeplanleggingen blir

aktiviteter som med en stor sannsynlighet ”vil skje” basert på aktørenes ”sunne” arbeidsbolker (Bertelsen 2003).

”Sunne” arbeidsbolker er basert på en teori om at det må være sju forutsetninger tilstede for at et arbeid skal gjennomføres. Sannsynligheten for at en aktivitet skal kunne utføres på byggeplassen er direkte avhengig av at forholdene ligger til rette for produksjon. Disse forholdene er konkretisert i disse sju forutsetningene illustrert i figur 8 og konkretisert i følgende punkter:

1. Tidligere aktiviteter på den spesifikke plassen må være ferdig og avsluttet.
2. Det må foreligge nødvendig plass til aktiviteten, som fremkommelighet og arbeidsplass.
3. Tilstrekkelig bemanning med riktig kvalifikasjoner.
4. Nødvendig informasjon som tegningsunderlag og utstikking/plassering.
5. Nødvendig materiell og utstyr.
6. Materialer som betong må være bestilt og leveranse avklart.
7. Eksterne forhold som vær og temperatur. Dette er vanskelig, men nødvendige forholdsregler må foreligge.



Figur 9 Forforutsetninger for en sunn aktivitet

Er disse forutsetningene tilstedet kan aktøren legge de inn som ”sunne” arbeidsbolker som med stor sannsynlighet ”vil skje” den neste uke. Dette perspektivet skaper et ”sug”/pull for å inneha forutsetningene slik at produksjonen kan gjennomføres (Bertelsen 2003).

Det er viktig å ha kontroll på produksjonen slik at det oppnås en god kapasitetsutnyttelse. Dette kan gjøres ved en status kontroll av prosent planlagt utført (PPC) etter endt uke. Det er imidlertid vanlig at noe uforutsett skjer på en byggeplass og at enkelte aktiviteter blir derfor utsatt. For at påliteligheten til planene skal forbedres er det viktig å spørre ”hvorfor” aktiviteten ikke ble utført. Årsakene blir kartlagt i dybden ved at spørsmålet repeteres slik at feilen kan identifiseres og elimineres. Oppfølgingen av produksjonen gjøres ved en PPC vurdering og årsaks vurdering (Bertelsen 2003).

For at aktørene skal kunne ha bestilt og planlagt sine ”sunne” arbeidsbolker må det foreligge en periodeplan. Arbeidsbolker som ”kan skje” innenfor en tidsperiode på 5-8 uker blir hentet fra en overordnet plan og lagt til i periodeplanen. Hindringer og forutsetninger kan i denne planen avklares slik at arbeidsflyt kan oppnås. Reserve arbeidsbolker, hvor aktiviteten er klar med kapasiteten ikke tilstedet, bør noteres slik at ved uforutsette hendelser kan ledig kapasitet utnyttes. Aktiviteter fra en overordnet plan trekkes inn i aktivitetsbolker som ”kan skje” innenfor en tidsramme på 5-8 uker.(Bertelsen 2003).

For at helheten skal ivaretas må det lages en prosessplan. En god fremdriftsplan bygger på grundig planlegging og godt eierskap fra aktørene til planene. Ukeplan og periodeplan er dynamiske planer som produseres underveis i prosessen etter Pull tankegang. Disse må like fullt hente sine aktiviteter fra en fastsatt plan. Denne fasteplanen skal fungere som et "tidsbudsjett" og inneha aktiviteter i logisk rekkefølge. For at dette skal oppnås, samtidig som det skapes innbyrdes enighet og forpliktelse fra aktørene, lages det et workshop under dette prosessplanleggingsarbeidet. Her skal det i felleskap settes opp den logiske rekkefølgen av aktiviteter i byggeprosessen. Leveranser som krever lang leveringstid kan legges inn og delmål underveis kan defineres. Denne planen skal ikke endres underveis, men være et mål for status av prosjektet. Dette blir prosessplanen og fokuset er hva som "bør skje" (Bertelsen 2003).

Last planner systemet gjør at det blir en gjennomgående pull/trekk av ressurser igjennom prosessen. Formålet med planene blir ikke å definere når en aktivitet skal utføres, men sikre at aktiviteten ferdigstilles etter planen slik at neste aktivitet kan starte. Dette kan oppnås ved å ivareta påliteligheten til planene. Denne påliteligheten gjør det mulig å redusere buffere mellom aktivitetene slik at byggetiden reduseres. Ferdigstillestidspunktene defineres av aktørene i ukeplanene ved å trekke "sunn" arbeidsbolker fra periodeplanen. Periodeplanen trekker de nødvendige forutsetningene for aktivitetene gjennom styring av logistikken samtidig som den trekker nye aktiviteter fra prosessplanen. Denne trekkingen skaper en pull/sug slik at produksjonen skjer under optimale forhold og etter byggeprosessen naturlige orden og tempo (Bertelsen 2003).

### 3. Resultater

#### 3.1 Systemdefinisjon "Fremdriftsplanlegging for betong av boligblokk"

Hos entreprenør AF Bygg Oslo og i denne kontekst systemet er definert. Systemet er den planlegging og oppfølgingsprosess som gjøres i forkant og underveis i en betongproduksjon av en boligblokk. Vurderingen av de tre metodene skal resultere i den planleggingsprosess som gir en optimalisert gjennomføring av denne type produksjon.

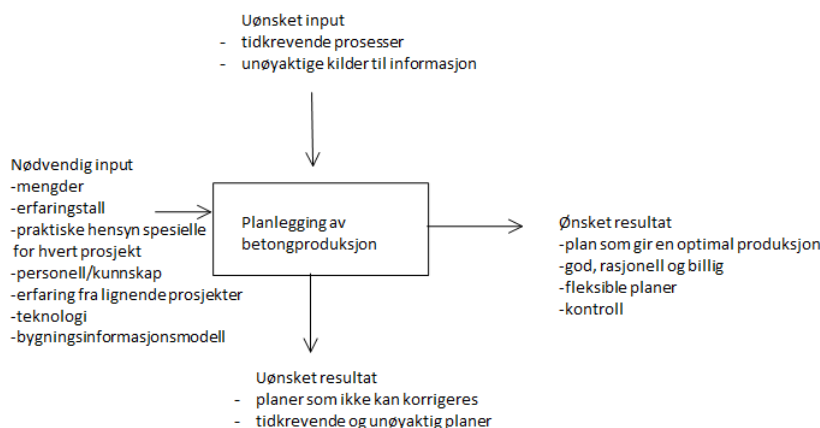
Rammene for systemet er blant annet byggeplassen, teknologiske hjelpemidler, involverte aktører og spesielt produksjonsleder for betong. Behov og krav fra disse rammene må ivaretas av planleggingsprosessen for at ønsket resultat skal oppnås.

##### 3.1.1 AF Gruppen – kontekst for denne oppgavens problemstilling

Problemstillingen er laget på grunnlag av en optimaliseringsmulighet for planlegging av betongproduksjon, funnet og belyst av ingeniører hos AF Bygg Oslo. AF Bygg Oslo er en del av AF Gruppen ASA som er et av Norges ledende entreprenør og industrikonsern. AF Bygg Oslo har en tverrfaglig kompetanse mot alle faser av et prosjekt og operer mest med nybygg som totalentreprenør. De satser sterkt mot en bruk av bygningsinformasjonsmodell ved blant annet å utføre kalkulasjon på grunnlag av modellen. Flere tidligere masteroppgaver om Bygningsinformasjonsmodell hos entreprenør er utført med utgangspunkt hos AF Bygg Oslo og de har ansatt egne BIM konsulenter for å utvikle sine prosesser ytterligere. Grefsenkollen 16, det prosjekt som er brukt i forsøkene, er et boligblokkprosjekt hvor AF Bygg Oslo er hovedentreprenør og en bygningsinformasjonsmodell ble tatt i bruk. Her har de blant annet utført store deler av betongproduksjonen ved bruk av egne produksjonsressurser. AF Bygg Oslo er kontekst for denne vurderingen av behov og utvikling av planleggingsprosess for betongproduksjon (Baggetorp 2011; *Om AF Bygg Oslo [online]* 2011; Scheele 2011).

##### 3.1.2 Grafisk Systemdefinisjonen:

Det ble laget en systemdefinisjon og denne er illustrert ved figur 9. Denne skal innledningsvis vise de rammer, behov og resultat som er ønsket og uønsket av systemet. Disse blir ytterligere konkretiseres gjennom den videre behovsdefinisjonen og de alternative metoder. Det endelige resultat drøftes i den sammenlignede ytelsesvurdering og konkluderes i konklusjonen.



Figur 10 Systemdefinisjon

### 3.2 Behovsdefinisjon for praktisk fremdriftsplanlegging for betong.

Praktisk fremdriftsplanlegging og gjennomføring av betong trekker frem en rekke behov og aspekter som en planleggingsprosess skal ivareta. Disse er kartlagt gjennom teori om risikofaktorer i byggeprosessen og intervjuer med betongproduksjonsledere i AF Bygg Oslo (se Vedlegg 1: Spørsmål til intervju og Vedlegg 2; Resultater praktisk betongplanlegging). En videre beskrivelse av den nåværende praksis og erfaring er beskrevet i Planleggingsmetode 1 (se 3.3.1).

For å kartlegge de behov og aspekter, som en potensiell berikelse av nåværende planleggingsmetode, er det utført en behovsdefinerings. Denne er utarbeidet på grunnlag av skjønn, den teori som behandlet i "Usikkerhets elementer i produksjon av betong"(2.5.1) og intervjuene utført med betongproduksjonsledere. Dette blir de aspekter som ønskes belyst av eventuelle nye planleggingsverktøy og planleggingsmetode. Denne definisjonen er grunnlag for den ytelsesvurderingen gjort i drøftingen. Behovsdefinisjonen er de potensielle forbedringsmulighetene og behov som kan berike eksisterende planleggingsmetode.

#### 3.2.1 Resultat av kartleggende intervjuer

##### *Generelt*

Oppnå dynamikk på byggeplass og oppnå en rasjonell drift.

Moderne bygg er med kompleks og individuell utforming, samtidig som det er høyere krav til utførelse. Dette skaper et behov for detaljering og oppfølging i planene. Planlegging bygger på kalkyler med erfaringstall og mengder, men dette er ikke tilstrekkelig. Pratiske forhold og forståelse av utføring og byggetekniske forhold må også inn i en god fremdriftsplan.

For at et fag skal komme til å få startet sin produksjon må tidligere aktiviteter utføres og avsluttes. Dette er vanskelige og usikre tall i planleggingen, men er svært essensielt for at planen skal kunne gjennomføres og kunne skape tillit blant arbeiderne. Behovet blir å lage en pålitelig plan som kan korrigeres og enkelt oppdateres, samt være tydelig slik at planleggeren kan oppdage risiko og muligheter.

*"Forutsetning for god planlegging er gode prosjekteringsteam som lager billige, gode og rasjonelle løsninger"*

##### *Betongproduksjonen*

Betongproduksjonen styres av en syklus kalt strengen. Denne lages på grunnlag av erfaring og av en forståelse av produksjonen. 16-20 meter betongvegg er dagsproduksjon av forskalingsnekkene, men dette forutsetter to forskalingssystemer og nødvendig forarbeid. På grunn av betongens behov for herdetid gjøres støpingen siste halvdel av dagen slik at herdetiden kan foregå over natten. Dette medfører at ved 13-14 tiden på dagen må gårldagens forskaling være revet, samt at forskalingen til dagens støp er ferdig. Når veggstrengen er avklart legger den opp til en naturlig etasjedrift. Dekkestøp er en del av etasjedriften. Betongproduksjonen bruker mye plass og er avhengig av krankløft for å produsere. Kranen skal løfte og plassere forskalingen. Skal det monteres balkonger brukes kranen og ved veggstøping brukes ofte en "tobb" som løfter betongen fra betongbilen opp til forskalingen.

Denne arealbruken lager et behov for en oversiktlig flyttplan slik at utnyttet plass blir planlagt.

Flere fag skal også inn for at etasjedriften skal kunne gjennomføres og disse trenger også plass til verktøy og materialer. Dette gjelder blant annet de fag som skal legge arbeider inn i veggen/dekke før støpingen utføres. Konstruktivt stål er også viktig å få montert slik at strengen ikke heftes av forsinkelser fra det. Dette genererer et behov for en plan som er oversiktig og kommuniserer godt slik at samarbeid og optimal drift kan gjennomføres. Dette gjør det også mulig for andre faggrupper å koordinere sitt arbeid og få frem sine plassbehov.

Betongproduksjonen legger beslag på arealer av byggeplassen utover der arbeidet utføres. Forskalingsnekkerne trenger lagerplass. Betongbilene og pumpebilene trenger losseplasser. Videre ligger det prosedyrer og sikkerhetstiltak som må gjennomføres for at produksjonen skal kunne utføres. Dette gjelder spesielt sikring av dekke og sikkerhetssoner under aktivitet i etasjene under, som støpeproduksjonsplass og kranløft. Disse arealene er viktig å få med seg i planleggingen og må sikres gjennom god koordinering og oppfølging.

### *Riggplass*

Riggplanen skal inneholde alle nødvendige elementer for riggplassen i den aktuelle byggefasen. Dette betyr at riggplanen endres underveis gjennom byggefasene som ”grunnarbeiderfasen” og ”betongproduksjonsfasen”. Riggplanen skal legge til rette for rasjonell drift av den plassen som er til rådighet. Dette gjør at byggeplassens yttergrenser og byggets ferdige yttermål er viktig å få merket slik at organiseringen blir optimal. Fremkommelighet og adkomstveier må frem slik at materialer og leveranser kan effektivt leveres og helst på faste plasser da det forenkler arbeidet for sjåfører og arbeidere. Det stilles i dag krav til leveranseplassen av betong da den skal være planert og med mulighet for vask av utstyr. Koordinering og kommunikasjon av riggplanen er svært viktig for å oppnå god logistikk på byggeplassen.

Orden på byggeplassen er svært viktig for det praktiske arbeidet på byggeplassen. Plassering av containere for lagring av materialer og verktøy til de forskjellige aktørene må eksempelvis defineres. Brakkeriggen med kontorer og hvileplass må planlegges. Det er i dag krav om å sortere og resirkulere ca 80 % av byggeplasseavfallet slik at dette også er plasskrevende. Plassorganisering og rydding av plassen er punkter som burde vært kommunisert gjennom riggplanen. En rotete og uoversiktig plass forhindrer fremkommelighet og drift. Lagerplass og drift av denne bør derfor komme med i riggplanen. Kranens plassering spiller en nøkkelrolle for at denne driften skal gå optimalt. Det er en rekke aspekter som fremmer at det må forekomme orden og ryddighet på byggeplassen. Dette behovet kunne vært planlagt og kommunisert igjennom planer av riggplassen.

Riggplassen er en viktig brikke i den praktiske driften av byggeplassen og det er derfor behov for en detaljert plan av denne. Flere omstendigheter enn de overnevnte kunne vært med. Dette gjelder blant annet ytre miljø og rammene for byggeplassen. Dette kan være omkringliggende veier med trafikk eller gangstier med fotgjengere. Støy og luftforurensning fra byggeplassen og tiltak for forbedring kunne også vært aspekter som kunne vært belyst i disse planene.

Byggeplassen er den del av et omkringliggende samfunn og byggeplassdriften har et ansvar for at belastningen av deres aktivitet er så begrenset som mulig.

### *Logistikk*

”Alt på stell”

Logistikk er en betydelig flaskehals når det gjelder produksjon på byggeplass. En del av aspektene er allerede adressert i riggplanen i forhold til effektiv lossing og lagerplass. Behovet i en plan er imidlertid større enn dette. Styring av logistikk er en nøkkelfaktor for å oppnå arbeidsflyt.

Det er behov for en detaljert leveranseplan som viser store leveranser, slik at disse ikke kommer samtidig som kranen er opptatt i driften. Leveranseplanen må også se til at bestillinger skjer i tide slik at materialer er på plassen når behovet er der. Den bør også inneha en detaljering slik at lossingen kan skje så effektivt som mulig. Leveranse av plattendecker kan eksempelvis skje til gitte tidspunkt på monteringsdagen og lasten kan være lastet slik at dekkene kan løftes rett på plass i bygget. Mottakskontroll av leveransen er viktig slik at oversikt og kontroll oppnås. Behov og oppfølging bør være adressert i planene.

Kranen er en nøkkelfaktor og ofte en flaskehals i produksjonen. De fleste aktiviteter på en byggeplass er avhengig av å få løftet sine verktøy og materialer på plassen. Betongproduksjonen er for eksempel avhengig av å løfte forskalingen og betongen for at driften skal skje. Dette skaper et behov for detaljert kapasitetsstyring. En behovs- og prioriteringsrett burde vært adressert inn i en plan. Alternativer som mobilkran og bestilling av lastebiler med egen kran kan være en effektiv løsning. Behovet for styring av krankapasiteten og eventuelle bestillinger av ekstra kapasitet bør være med i planleggingen.

### *Kommunikasjon og koordinering.*

Samspeillet på byggeplass er viktig. Dette bygger på god kommunikasjon og koordinering mellom aktørene. Enighet og forståelse må oppnås under planleggingen, og det er viktig å være tydelig i hvordan produksjoner er tenkt gjennomført. Konsistente og forståelige planer/tegninger er viktige virkemidler i dette arbeidet. Behovet blir en plan som tydelig beskriver grensesnittene mellom fag og de behovene forskjellige aktører har i forhold til plass og tid.

Betongdriften er viktig aktør i dette arbeidet fordi betongen anses som den drivende produksjonen. Flyttplaner er en viktig plan for å beskrive den betongdriften som er tenkt. Kravet til denne blir at den tydelig kommuniserer de forutsetninger som behøves for betongdriften, samtidig som den legger til rette for at de andre aktørene får plass og mulighet for drift. Det må skapes forståelse hos alle aktører slik at enighet oppnås.

Bygningsinformasjonsmodell (BIM) kan være et viktig virkemiddel i å oppnå forståelse. Den kan gi et visuelt inntrykk av bygget og dets detaljer. Dette kan være svært viktig på en byggeplass der språket er et problem. Planleggingen bør legge til rette for bruk av BIM slik at kommunikasjonen og koordineringen forbedres.

### *De øvrige risikofaktorer*

Vær og miljø er eksterne usikkerhetsfaktorer som vanskelig lar seg planlegge. Nødvendige tiltak og forutsetninger for å kunne produsere må likevel tas med i en planlegging. Dette arbeidet må også følges opp og korrigeres underveis i produksjonen. Behovet blir å få de med på agendaen nær produksjonstidspunktet.

Behov ved arbeidsstart må følges opp og kontrolleres slik at produksjonen kan bli utført. Blant annet må et fullstendig tegningsunderlag ligge til grunn i korrekt revisjon ved oppstart eller etter en avtalt leveringstidsplan. Oppfølging av rådgivende ingeniør byggteknikk(RIB) og tidspunktene for nødvendige tegninger må adresseres i en plan. Utstikking av akser og behov for oppmerking må også adresseres og følges opp. Egenkontroll og kvalitetssikring må skje før produksjonen kan starte.

Nye faggrupper ankommer byggeprosessen. Tidspunkt for nye arbeidslags ankomst og hvordan de skal få arbeidsplass må inn i en plan og følges opp på en oversiktlig og kontrollerende måte.

Tilgjengelige ressurser for korrigeringer av fremdrift. Uforutsette hendelser skjer alltid og det gjelder å være ”endringsorientert”. Planen må kunne korrigeres og endringenes konsekvens må kunne oppdages og oppfølges. Grunnen til slike uforutsette hendelser kan være:

- forsinket levering
- mangelfull utførelse på tidligere aktiviteter eller forsinkelser på grunn av grunnforhold
- sykefravær

Konsekvensene av feil fremdrift kan være stopp eller venting. Dette ødelegger arbeidsflyten og dynamikken på plassen. Et effektivt virkemiddel kan være å holde igjen utbetalinger til aktører som ikke korrigerer.

Kvalitetsrelaterte problemer må også med i en behovsdefinisjon. Planene må blant annet fokusere på utstøpningsmengde, materialvalg og overflatekrav slik at disse blir adressert og gjennomført. Økonomisk og praktisk oppfølging og kontroll må inn i planene slik at en tilfredsstillende kvalitet oppnås.

### *Forbedringer og utvikling*

For å lage en god plan må det utarbeides ”billige, gode og rasjonelle løsninger”. Dette gjør det viktig å opparbeide seg et helhetlig inntrykk av produksjonen. Dette er spesielt viktig fordi moderne bygg er krevende og unike. Planleggingen bør legge til rette for en tverrfaglig prosess der flest mulig av aktørene får frem sine synspunkter. Optimalt gjøres dette tidlig i planleggingsfasen, men tverrfaglige innspill er viktig også underveis i produksjonen. En effektiv loggføring av avgjørelser er også viktig for at det skal kunne tas lærdom av feil og få en kontinuerlig forbedring og utvikling. Behovet til planleggingen blir å legge til rette for en åpen og helhetlig prosess på tvers av fag og med et fokus på å optimalisere prosessen. Erfaringer og beslutninger bør loggføres på en oversiktlig måte slik at prosessen utvikles over tid.



### 3.2.2 Behovsdefinisjon drøfting og sammendrag.

I intervjuene ble det kartlagt hvordan det praktiske arbeidet med planlegging av betongproduksjonen ble utført. Dette gav innblikk i den hverdagen og de utfordringene som betongproduksjonsledere står ovenfor. Videre ble det også spurt intervjuobjektene om hvilke områder i planleggingen de mente var verdt å forbedre, og på hvilke måte det var antatt hensiktsmessig å gjøre dette. På dette grunnlaget ble det definert de behov som ble antatt å være av relevans og mulig å imøtekomme med nye planleggingsverktøy og metoder. Det kan være flere forbedringsmuligheter enn de som er kartlagt i denne prosessen, men arbeidet gav grunnlag for en definering av de mest interessante områdene. Flere av disse er ivaretatt i forskjellig grad i den nåværende praksis i AF Bygg Oslo, ved at produksjonsledere har forskjellige praksiser. Behovsdefineringen er derfor gjort på et generelt grunnlag slik at de forskjellige elementene i definisjonen kan ha mindre relevans for enkelte produksjonsledere. Dette er ansett som et mindre problem da behovene er uttrykt av flere produksjonsleder og utført etter skjønn av den praksis som kom til uttrykk. Behovsdefinisjonen er utført etter beste evne og i tråd med det kartlagte materialet.

Tabellen under trekker frem de behov og forbedringsmulighetene som ble kartlagt i intervjuene.

Tabell 1 Behovsdefinisjon kategorisert

| <b>Funksjonskrav<br/>(Hvordan planleggingsprosessen skal virke?)</b> | <b>Operasjonelle krav<br/>(Hvordan planleggingsprosessen skal drives?)</b> | <b>Fysiske krav<br/>(Hvordan planleggingsprosessen skal bygges og hva det skal tåle?)</b> |
|--|--|---|
| <i>Planens utarbeidelse</i>  | <i>Plan under byggeprosess</i>   | <i>Planens detaljeringsnivå</i>   |
| Dynamikk   | Detaljering (nødvendige detaljer)  | Vise byggtekniske utfordringer  |
| Pålitelige planer  | Oppfølging og kontroll (inneha prosedyrer)                                 | Tydelige og entydige planer   |
| Tydelige planer  | Styring av logistikk   | Få frem plassrelaterte behov  |
| Fokus på å optimalisere prosessen                                    | Krankapitets styring   | Fremdriftsplaner som lett kan kommuniseres for koordinering                               |
| Plan med tydelige grensesnitt mellom fag                             | Enighet om planenes utforming  | Koordinere riggplasser  |
| Adressere aktivitetenes forutsetninger                               | Aktualisere vær og klima utfordringer                                      | Oversiktlig flyttplan grunnfestet i praktisk erfaringer                                   |
| Tverrfaglig prosess  | Kontroll og oppfølging av nye ressurser på byggeplass                      | Plassorganisering   |
| Kommunisere et helhetlig uttrykk for produksjonen                    | Endrings konsekvens og planenes korrigeringsevne                           | Risiko vurderinger av byggeplassens ytre miljø  |
| Fokusere på erfaring   | Praktisk og økonomisk oppfølging av kvalitet                               | Detaljert leveranseplan   |
|  | Koordinering og kommunikasjon av riggplass                                 | Bruk av Bygningsinformasjonsmodell  |
|  |  | Loggføring av beslutninger og erfaringer  |

### 3.3 Alternative planleggingsmetoder

Det er videre konkretisert 3 planleggingsmetoder for produksjon av betong. Arbeidet er utført på bakgrunn av intervju, forsøk og gjennomgått teori. Hver enkelt metode er drøftet på bakgrunn av disse kilder og en kvalitativ vurdering av undertegnede.

#### 3.3.1 Planleggingsmetode 1: Nåværende planleggingsprosess, aktivitets og erfarings basert planlegging etter "kritisk vei"(CPM).

##### Introduksjon

Utgangspunktet for denne planleggingsmetoden er den prosessen erfarne produksjonsledere i AF Bygg Oslo praktiserer i dag. Informasjonen ble samlet gjennom et introduserende intervju med anleggsleder og prosjektingeniør på byggeplass. Prosjektet som er utgangspunkt er Grefsenkollveien 16. Dette er en boligblokk som er oppført med plaststøpte vegger og plattendekker. Prosessen ble i etterkant studert gjennom GK16-Flyttdiagram etasjedrift råbygg, Etasjeframdriftsplaner, tilhørende Gantt diagram og plantegninger med støpetapper. Et oppklarende intervju ble gjort med produksjonsleder for betongen ved Grefsenkollveien 16 prosjektet (vedlegg 3: intervju produksjonsleder for betong ved Grefsenkollveien 16).

##### Metode

For å analysere betongproduksjonen som prosess ble det tatt utgangspunkt i planene og forklaringene fra samtalen med anleggslederen og prosjektingeniøren. Prosessen er delt opp i de forskjellige fokusområder. Detaljeringsnivået var ikke høyt, men lagt på et nivå for å oppnå en praktisk forståelse av den planlagte produksjonen. Den praktiske forståelsen ble også underbygd av observasjoner på byggeplassen og videre detaljert gjennom intervjuet med produksjonslederen for betong ved prosjektet.

##### Grunnleggende for betong planlegging.

Den praktiske utførelsen av planene ved Grefsenkollveien 16 ble gjort ved å lage ukeplaner og oppdeling av disse i dagsplaner. Disse planlegges mest mulig detaljert, men med høyde for det uforutsette.

Utgangspunktet for planleggingen er et komplett tegningsgrunnlag(2D) ved oppstart. Arbeidet med planleggingen blir blant annet utført på utskrifter av plantegninger. Tegningsgrunnlaget blir ofte redigert underveis i prosjektet, men et komplett sett er viktig i starten. Dette gjør det mulig å danne seg et bilde av prosjektet og hvordan det fysisk skal bygges opp. Plantegninger danner grunnlaget for å sette opp en stram, men realistisk plan. Dette blir gjort på grunnlag av erfaring. Denne planen blir tilslutt sammenlignet med tall fra hovedfremdriftsplanen, og er det uoverensstemmelser her blir dette grunnlag for en diskusjon med anleggsleder og prosjektleder. Korrigeringer av hovedfremdriftsplan, eventuelt ekstra tiltak for en raskere produksjon blir så drøftet. Dette gjør det mulig å skape en realistisk plan der det er overensstemmelse mellom erfaringstall og praktisk erfaring fra lignende bygg.

Utfordringer og risikorelaterte problemer blir ikke i utstrakt grad drøftet da det er det vanskelig å kartlegge disse i starten. Et svært viktig prisnipp er at det jobbes løsningsorientert i produksjonsfasen. Dette innebærer at utfordringer oppdages og disse løses underveis.

### *Betongplanlegging.*

Betongproduksjonen er spesiell i planleggingssammenheng. Treutligninger av forskalingen skaper flaskehalsler og herdingen av betongen kan gå galt slik at veggen går i stykker når forskalingen rives. Dette skaper utfordringer som må løses underveis.

Planleggingens utgangspunkt avhenger i vesentlig grad av betongprosjekterings valg av løsninger. Når rådgivende ingeniør byggeteknikk (RIB) gjør valg på de konstruktive forholdene i et bygg, får dette utslag for hvordan betongplanleggeren ser det hensiktsmessig å foreta produksjonen. Dette kan for eksempel være valget om betongdekke rett på grunn, eller om betongveggene skal lages direkte på fundamentene. På Grefsenkollveien 16 ble sistnevnte løsning valgt og fundamentene ble derfor naturlig utgangspunkt for betong planleggingen.

For å lage første strengen ble det valgt fundamentene i akse "A" som start akse. Denne første strengen er veggproduksjonens syklus. Produksjonslederen starter alltid med yttervegger og vet av erfaring at ca 16m vegg er en fornuftig støpeetappe. Dette kan utføres ved bruk av to oppsettforaskalinger på 16m samt et lokk på tilsvarende lengde. Når syklusen så er i gang kan "lokken" flyttes om morgenen fra den ferdigstøpte veggen etter gårdagens produksjon, til den ferdige oppsetten som også ble satt opp dagen i forveien. Videre kan da forskalingen monteres for så å støpes, samtidig som den andre oppsetten flyttes til ny veggplass for preparering. Dette er et utgangspunkt for en optimal produksjon. Et alternativ kan være å ha to hele 16m forskalingssystemer, men dette kan føre til at forskalingen må løftes ned og på den måten øker antall kranløft.

Veggenes produksjonsrekkefølge eller flyttplanens rekkefølge er av stor betydning. Siden 16meter er en etappeproduksjon startes det som nevnt med ytterveggen. Videre må det ettersees at skjøtekassene er på riktig plass. Disse skjøtekassene er armeringstilgang for tilstøtende vegger og er utgangspunkt for understøttende tverrvegger. Skal en slik tverrvegg inn på to tilstøtende vegger, eksempelvis 90 grader på to yttervegger, må ytterveggene produseres først. Neste hensyn som må tas er hjørner. Disse skaper ekstraarbeid og det må tas stilling til hvilke vegg som skal "kobles" på den andre. Dette skaper en logisk rekkefølge som nødvendig vis ikke er kronologisk etter aksenes stigende bokstav eller tall.

For en optimal produksjon må alle veggene som understøtter et dekke på plass slik at en god dekkestøp syklus kan starte. Dekkestøp er streng nummer 2. Plattendekker som underlag for dekkestøp er en vanlig metode. De kan for eksempel ha en spennvidde på 7.20m før den må understøttes av en vegg, og må samtidig støpes ut ca 1m over "siste" understøttelse av konstruktive grunner. Dette gir dekk lengder pr støp på henholdsvis 15.40m, 22.60m eller 29.80m. Dette passer godt med en yttervegg produksjon på 16m pr etappe. Det er viktig at alle betongkonstruksjoner under dekket er utført før dekke støpes, som foreksempel tidkrevende trappesjakter og heisjakter.

Optimal fremdriftsplanlegging av betong gjør det mulig at vegg produksjon og dekkeproduksjon arbeider på forskjellige plasser. Dette tar form som en "trappeproduksjon" der veggproduksjonen legger til rette slik at dekkeproduksjonen kan gjennomføres. Dette blir

som nevnt over kalt strenger, og produksjonslederen presiserte at 2 strenger er maksimalt antall strenger på prosjekter som Grefsenkollveien 16.

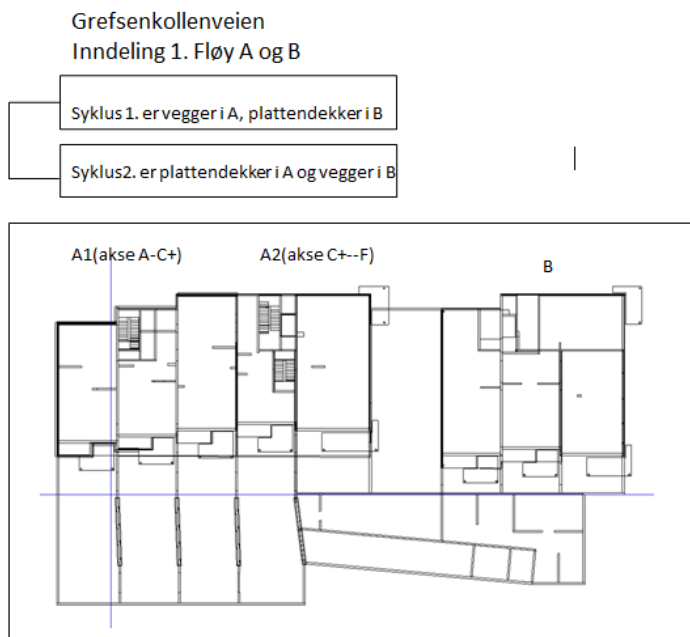
*Den grunnleggende produksjonsprosessen av betong for vegger og dekker:*

Støpeetappe ”vegger”- består av delprosessene:

1. Oppsett (forskalingens første del)
2. Armering /El og andre faggruppers aktivitet
3. Lukking (forskalingens andre del)
4. støping
5. (Herde tid)
6. nedrigg/pussing

Støpeetappe ”dekker”- består av delprosessene:

1. plattendekker
2. sikring
3. armering
4. støp
5. (herde tid)



Figur 11 Syklus/streng inndeling av bygget; Grefsenkollveien 16

Planen konkretiseres ved bruk av plantegninger og detaljering. Ved Grefsenkollenveien ble det brukt 3 forskalingssystemer:

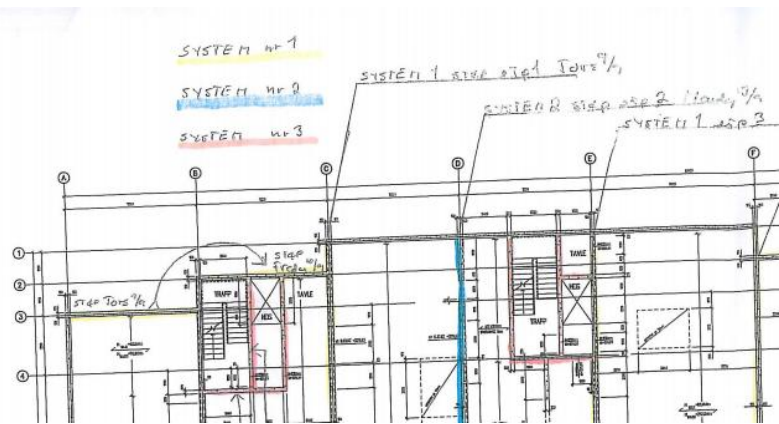
System 1.(gul)

System 2. (blå)

System 3.trappe/heis sjakt.(rød)

Denne oppdelingen gjør det mulig å planlegge flere arbeidslag i drift samtidig. Systemene blir geografiske

puslespillbrikker som kan legges i den mest egnede rekkefølgen, men det kan for enkelhetsskyld beskrives som tre ”oppsett” med tilhørende ressurs. Det er et viktig poeng at det kan knyttes ressurser til disse systemene slik som arbeidslag. Samtidig kan disse fungere som forklarende elementer i plandrøfting. Denne kommuniserende effekten er forsterket ved at det brukes forskjellige farger på de forskjellige systemene



Figur 12 Utsnitt plantegning med støpeetappe forklaring; forsøk Grefsenkollveien 16

Ut fra tilhørende Gantt diagram estimeres det et tidsforbruk på nesten 1,5 dag per oppsett og 2dager på armering, lukking og støp. Dette med en unøyaktighet på ca 1/5 dag, men her er det lagt inn buffere og overlapping. Flytdiagrammet viser en plan som gjør at de to vegglagene jobber på to forskjellige plasser. Vegglag 1 jobber i hovedsak med oppsett og vegglag 2 tar fullføring av oppsett og støp. De andre fagene som elektrikere, jernbindere og rørleggere står oppført å følge betongdrift. Dette uten nærmere spesifisering, men i senere flytdiagrammer var dette oppført.

### Planlegge bemanning

#### Prinsipper

- Trappes opp.
- Rett mann på rett plass.
- Folk til å stole på.

Produksjonslederen påpeker at bemanning må skje på grunnlag av kjennskap til arbeidsfolkene og spesielt leder for betongarbeidslaget (bas). Dette er viktig for at de skal jobbe optimalt og for at de utførende får en god forståelse av prosjektet. Disse forholdene har blitt ivaretatt på Grefsenkollveien 16 ved at bas og betongproduksjonsleder har startet hver arbeidsdag med et møte. Her har dagsplanen vært agenda for å sikre at denne kan gjennomføres, samt avdekke de forutsetninger som skal til for at dette skal la seg gjøre. Det er viktig at bas og betongproduksjonslederen er enige om hvordan produksjonen skal gjennomføres slik at samarbeid oppnås.

Bemanningen forandres underveis i prosjektet. Ved Grefsenkollveien 16 startet 3-4 mann med forberedende arbeid. Videre ble det ved produksjonsstart satt 4 mann til veggproduksjonen i kjelleren. Det ble videre økt med ytterligere til 8-9 mann når strengene var etabler. Det er viktig å påse at arbeidsfolkene får spesialisert seg på enten vegg eller dekker slik at produksjonen blir jevn og optimalisert, men et godt samarbeid mellom vegglag og dekkelag er viktig. I praksis ble 3 mann satt til veggmontasje og 4-5 mann til dekkepreparering.

I utgangspunktet består et arbeidslag av 8 personer og disse er det viktig å bruke på riktig måte. Oppstår det venting eller stopp i en av produksjonene, og andre forhold egentlig ligger til rette for produksjon, kan dette komme av feil i bemanningen.

### *Riggplanen "alt må inn"*

Alle plassrelaterte objekter eller behov må inn på en riggplan. Samtidig må det legges opp til en rasjonell drift av alle leveranser fra lastebiler og maskiner som skal inn på området. I dag skal 80% av all søppel som blir produsert på byggeplass gjenvinnes. Dette må selvfølgelig inn i riggplanen, samtidig som det, og alt annet må være smart plassert i forhold til praktisk bruk.

Riggplanen vil endre seg underveis i byggeprosessen. Når betongproduksjonsfasen nærmer seg tar betongproduksjonsleder og anleggsleder for seg riggplanen for betongfasen. Det kan blant annet være hensiktsmessig å flytte på innfartsåre og leveranseplasser i forhold til hva som ble brukt under graving og utvikling av byggegroppen. Under betongfasen kan det være fornuftig å gjøre kun nødvendige endringer, eksempelvis anlegge en fast leveringsplass for betong for å forenkle kommunikasjon med sjåførene. Endringer av riggplanen mellom fasene er fornuftig fordi det sikrer en drift som er optimalisert for den fasen byggproduksjonen er i.

Riggplanen er i praksis et stort kart over området på ark. Dette blir hengt opp på en vegg i kontorbrakken på anleggsplassen. Små endringer kan påføres for hånd, mens ved større endringer tegnes en ny. Riggplanen omfatter på denne måten de endringer og objekter som blir anset som overordnet viktig. Riggplanarbeidet er gjort ved en praktisk og manuell metoden, noe som gjør det vanskelig å få med detaljer som endres ofte.

### *Risiko*

Muligheter og utfordringer i forhold til den praktiske betongproduksjonen blir kartlagt i mindre grad. Dette betyr at plan B må lages på stedet ut fra en helhetlig vurdering. Denne vurderingen er økonomisk basert så vel som praktisk, og fortøner seg som en løsningsorientert "brannsløkking". Her kommer det tette samarbeidet med bas og arbeidslag til sin rett, og sammen forsøker de å finne den beste løsningen. Det blir likevel tatt viktige avgjørelser i planleggingen hvor mange erfaringer innenfor de forskjellige usikkerhetsmomentene blir vektlagt, slik at helt uforberedt er produksjonslederen selvfølgelig ikke.

### *Klima*

Vinterstøp har selvfølgelig sine utfordringer, men er fullt mulig ved de rette grep. Praktiske tiltak som vinterbetong og snøsegl blir utført etter behov. Produksjonslederen tar seg av disse forholdene.

### *Tegningsunderlag og utstikking*

Riktig tegningsunderlag er viktig og legger grunnlaget for utføringen. Utsparinger og andre objekter som skal inn i veggene blir kontrollert visuelt etter en A3 tegning før lokken blir plassert. Det er prosedyrer og sjekklister for dette arbeidet, men det er vanskelig siden det er liten tid til å foreta kontrollmålinger. Plasseringen av veggene foregår etter "klossingen" som er det punktet stikkeren lager, men dette er også svært vanskelig å kontrollere.

Tømmerproduksjonen oppdager de fleste geometriske avvik og disse må i de fleste tilfellene utbedres. Dette betyr ekstra arbeid som betongskjæring evt. oppigning og riving. Når dette skjer vil produksjonslederen kunne gå tilbake til sjekklistene å se at byggingen er skjedd etter en tallfestet revisjon av tegningsunderlaget. Dette kan være viktig i en ansvars plassering av feilen.

### *Logistikk og flaskehals*

Krankapasiteten blir planlagt ved at betongarbeider har første prioritet på kranen for å få utført sitt arbeid. Like viktig er det at kranføreren er kjapp, sikker og god til å følge med slik at nødvendige løft kan gjøres effektivt og sikkert. At kranens begrensninger er av avgjørende betydning er et faktum og mulige løsninger ved for liten kapasitet er å planlegge flere kraner evt. bruke mobilkran i kritiske perioder. Resultatet av for liten krankapasitet kan være å jobbe lange dager for å holde planen.

Tilrettelegging for lossing og inntransport er viktige, men vanskelige forhold å planlegge. Praktisk må det være plass nok til å ta imot trailere. Grefsenkollveien 16 var et eksempel på at dette ble et problem da det prosjekterte parkeringshuset tok store deler av byggeplassen. Faste, markerte og romslige avlossingsplasser er å foretrekke der det er mulig.

For å tilrettelegge lossingen ytterligere kan leveringsplaner være en mulighet. En leveringsplan kan inneholde koordinering av den lasten som skal komme. Leveringsplanen kan også inneholde leveringstidspunkt for leveranser. Dette betyr at leveransene skjer til avtalt tid. Dette vil generere behov i forhold til kranen og utført arbeid som må være ferdig før leveransen kan mottas. Arbeidet blir på denne måten forutsigbart, likevel er ikke en slik leveringsplan lett å gjennomføre. Innkjøringsperioder kan være svært krevende og detaljering av tidsfrister kan være vanskelig å sette. Resultatet kan være mye ventetid for enten arbeidslaget eller leveringene. Likevel vil en slik leveringsplan vær å foretrekke og i de fleste tilfeller skape en god pulserende drift av byggeplassen.

### *Kommunikasjon og koordinering*

Tegninger og planer er utgangspunktet for all kommunikasjon og koordinering på en byggeplass i betongdrift. Plantegninger er grunnlag for kommunikasjon og forståelse, videre lager produksjonslederen en etappeplan/flyttplan som er grunnlaget for all fremdrift. Denne planen genererer leveringsplaner og koordinering av andre fag ved at underentreprenørene ser sine tidslommer. Et Gantt diagram blir også laget for å få fram tidsperspektivet og flere detaljer.

I prinsippet er grensesnittet mellom aktørene på byggeplassen definert ved at betongproduksjonen er den styrende aktivitet og de resterende aktører må følge denne. Betongvegger og dekker må først opp for at produksjonen skal gå best mulig. Likevel prøver produksjonslederen å være behjelpelig med å få de andre aktørene i gang og gjøre plass til disse. Dette fører til en nær kommunikasjon mellom produksjonsledere for betongen og for tømmerne. Her blir grensesnitt og produksjonsplasser avklart underveis. Det oppstår ofte uoverensstemmelser mellom de forskjellige faggruppene om hvem som skal inn når. Dette blir alltid en vurderingssak, og det kan føre med seg diskusjon og påvirke produksjonshastighet og bemanning. Alle vil ha like mye plass slik at de får brukt sine ressurser på en mest mulig effektiv måte, men dette må bestemmes ut fra betongens produksjon.

Bygningsinformasjonsmodell kan benyttes for å få en visuell forståelse av bygget, men dette blir gjort i mindre grad. Den kan gjøre det enklere å få fokus på vanskelige områder i bygget ved en visualisering i 3D. Bygningsinformasjonsmodellen kan gi et vesentlig bidrag i form av forståelse av byggeprosessen.

### *Plass problemer*

Erfaring tilsier at det finnes flere plassrelaterte problemer. De fleste springer ut av mangel på orden og rydding av byggeplassen blir et nødvendig tiltak. Dette blir ansett som et kontinuerlig forbedringsområde. Plassrelaterte problemer blir ikke adressert i planen, men ordnes underveis.

### *Generelt*

Fremdriftsplanlegging må alltid ta høyde for det utforutsette. En dag kan en støpetappe bli utsatt fordi en vegg går i stykker under rivingen av forskalingen. Er det ingen planlagt buffer må dette jobbes inn, men som regel legges det inn litt slak i planene. Slike løsninger blir alltid tatt i en helhetsvurdering. Er det for eksempel ingen press på planene eller om det finnes noen naturlige buffere kan det være hensiktsmessig å bruke disse. Slikt oppdages av erfaring ut fra foreksempel flyttplanen, og kan foreksempel være utsetting av arbeider som ikke har direkte innvirkning for at syklusen skal gå optimalt. Dette kan være tilstøtende konstruksjoner som garasjeanlegget på Grefsenkollveien 16. Den naturlige bufferen her ble at denne konstruksjonen ble utsatt og tatt i etterkant av resten av bygget. Produksjonsplanleggerne tar alltid høyde for det uforutsette og leder produksjonen etter et helhetlig bilde.

Når det uforutsette oppstår og det blir en stans i produksjonen vil det nesten alltid finnes alternative arbeidsoppgaver. Det vil alltid være et behov for rydding eller annet forefallende, men dette er i praksis vanskelig og demotiverende for arbeiderne. Grunnen til dette er at arbeidsprosessen blir oppstykket ved at arbeideren forlater den aktiviteten han er satt til (verktøyet, operasjonen) for så å gjøre noe annet i mellomtiden. Ofte blir dette "dødtid" og er ødeleggende for dynamikken i produksjonen.

En av grunnene til at stans oppstår kan være manglende nødvendig verktøy, utstyr eller materiale. Hver operasjon på plassen har spesielle praktiske behov. Det lages innkjøps planer



for at disse behovene skal være dekket, men mangler kan oppstå. Dette er områder som produksjonsleder må ha i tankene slik at optimal produksjon kan forekomme.

### 3.3.2 Drøfting av planleggingsmetode 1.

Denne planleggingsprosessen var aktivitetsbasert og med betongproduksjonsstregene som tydelig "kritisk vei", men flere faktorer uteble. Ved å bygge opp produksjonen etappe for etappe og estimere tidsforbruket ble dette de aktivitetene som ble plassert i en logisk rekkefølge for å nå målet. Denne rekkefølgen ble ansett som den kritiske veien fordi betongproduksjonen ble ansett som den drivende og viktigste aktivitet for fremdriften. En alternativ tilnærming, med eksempelvis elementer fra stedbasert planlegging, kunne skapt mer fokus på arbeidsflyt og de rommelige aspektene ved produksjonen. Dette kunne gjort det mulig å se om betongproduksjonen virkelig var det kritiske elementet, og eventuelt skapt grunnlag for en mer helhetlig vurdering av produksjonen på byggeplass. Flere elementer fra stedbasert planlegging kunne gjort perspektivet i planleggingsarbeidet mer overskuende (Kenley & Seppänen 2010).

Tegningsunderlaget skapte usikkerhet i prosessen og de "fastlagte" planene gav liten mulighet til endringer. Et tegningsunderlag på ark, som eksempelvis plantegninger, er et praktisk og rasjonelt utgangspunkt for planleggingen. Ved flere prosjekt kan dette være den eneste tilgangen til relevant informasjon. Likefullt skapte dette usikkerhet i prosessen fordi disse tegningsunderlagene kunne bli gjenstand for endringer og revisjoner helt frem til produksjonsdato. De fysiske tegningene hadde begrensede muligheter til endringer underveis og ved en revisjon måtte alle etappene tegnes inn på nytt. Alternativt kunne et tegningsunderlag basert på bygningsinformasjonsmodell gjort korrigeringer enklere og konsekvensene tydeligere. Sikkerheten for at planen utarbeides på det korrekte underlag kunne også vært forbedret ved at bygningsinformasjonsmodellen lar seg oppdatere og sene beslutninger i den overordnede planleggingsfasen kan bli tatt med. De fastlagte planene på ark skapte usikkerhet til planen grunnet sene endringer i underlaget, og metodens reduserte evne til å korrigere planer (Eastman 2008).

Usikkerhetsmomenter i planleggingen ble ikke direkte behandlet i planleggingsmetoden og dette kan føre til utilsiktede hendelser. En rekke uforutsette hendelser ble behandlet underveis i byggeprosessen ettersom de oppsto. Planleggeren innehar masse relevant erfaring som brukes aktivt i prosessen og løste de uforutsette hendelsene fortløpende ved å være "løsningsorientert". Likevel gjorde det sene identifiseringstidspunktet til en utstrakt "brannslukking" av problemene. En rekke risikofaktorer i den praktiske betongproduksjonen ble likevel behandlet uten at det ble kalt en risikoanalyse. Eksempler på dette var tiltak ved vinterproduksjon og aktiv oppfølging av prosessen. Uansett anses det som en mulig forbedring å aktivt fokusere på de utfordringer som kan oppstå, og dokumentere funn, slik at produksjonen kan unngå disse. Ved å oppdage risikoelementer gjennom en grovanalyse og aktualisere disse elementene gjennom prosessen, spesielt de konkrete faktorene som er foreslått av Kenley og Seppänen (se kap- 2.5.1), kunne flere negative uforutsette hendelser vært unngått. Ved aktivt å behandle usikkerhet i planleggingsmetoden er det svært sannsynlig at produksjonen kan forbedres.

Push/presse prosess var den grunnleggende produksjonsteorien, men denne kan skape en mindre optimal produksjonsprosess. Holdningen til planene var at de skulle være ”stramme”, men fullt mulige å gjennomføre. Planene ble gjennomført slik at ved eventuelle avvik ble tiltak iverksatt for å ta igjen tidssprekken. Aktivitetene ble presset fra planen og ut på byggeplassen for målrettet å nå det estimerte tidsforbruk. Dette kan skape utfordringer på byggeplass i forhold til eksempelvis produksjonshastigheten mellom strengene slik at resultatet er lite kontinuitet i produksjonen. Et alternativt perspektiv på planen, i henhold til Lean construction prinsippene og Last Planner™ systemet, kunne skapt en mer naturlig produksjon. Eksempelvis kunne planleggingsprosessen fokuset på produksjonsflyt og produksjonslederens ansvar som ”the Last Planner”. Dette kunne gjort prosessperspektivet trekkende/pull og den naturlige produksjonen kunne blitt ivaretatt.

Gantt diagrammet og flyttplanen på etasjeplantegningen viste hvordan produksjonen var tenkt, men om dette var en optimal plan ble vanskelig å bedømme. Helhetsbildet av betongproduksjonen kom ikke tydelig fram av de planene som forelå. Mange planer, tegninger, erfaringer og tanker om produksjonen var ikke dokumentert. Dette, samt de mange uttryksformer, gjorde det vanskelig å danne seg et helhetsbilde av hvordan produksjonen var tenkt. En mulig årsak til at helhetsbildet er vanskelig å oppdage kan være at materialet som ble studert kun var en liten del av alle planene som er laget. Likevel er det antatt at flyttplanen og Gantt diagrammer, beriket med ytterligere detaljer, er de planene som skal ivareta helhetsbildet. I forsøket viste disse planene seg å være detaljerte, men det var vanskelig å få oversikt over prosessen. Mangelen på en overordnet plan gjorde det vanskelig å danne seg et helhetlig bilde av prosessen.

Denne kompleksiteten i planene gjorde det vanskelig å respondere på planene. Planene som var studert gav som nevnt ikke et godt helhetsbilde. Dette faktum gjorde det vanskelig for andre enn planleggerne selv å respondere konstruktivt på planene som ble laget. Forklarende diagrammer og ytterligere planer ble laget for å hjelpe planleggingsteamet i denne kommunikasjonen. Det antas at koordineringen og kommunikasjonen av planene ble vanskelig, samtidig som dette la en stor begrensning i forhold til konstruktiv respons på planene. Dette problemet kunne vært imøtekommet gjennom en forbedret kommunikasjon ved bruk av en 4D CAD og en simulering av byggeprosessen. En fornuftig bruk av 4Dmodellen kunne, i henhold til Eastman og Jongeling, gi en forbedret kommunikasjon omkring planene. Planenes kompleksitet kan enklere kommuniseres gjennom en 4D CAD simulering.

Konstruktiv respons og kartlegging av forbedringsmuligheter burde vært en større del av planleggingen. En betongfremdriftsplan har sine rammevilkår og planleggingen ble gjort etter beste evne av produksjonslederen og planleggingsteamet. Dette blir ansett som en rasjonell og god måte å arbeide på. Likevel begrenser dette forbedringsmulighetene av driften. Den raffineringen som skjedde ble gjort på grunnlag av nye erfaringer som erverves underveis, men produksjonen kunne vært ytterligere effektivisert. Ved drøfting i et tverrfaglig miljø kunne dette forekommet og flere aspekter ved produksjonen kunne vært kartlagt. En forutsetning for en slik drøfting er enkle og mer oversiktlige planer. Forbedringsområder kunne vært kartlagt gjennom ytterligere bruk av drøfting i tverrfaglige planleggingsmøter.

Denne planleggingsprosessen hadde begrenset bruk av bygningsinformasjonsmodell (BIM). Det var en positiv holdning til bruk av BIM i planlegging. Produksjonsledere benyttet seg av BIM for å få en visuell forståelse og kontroll av spesielle detaljer som for eksempel kontroll av utsparinger. Likefullt var ikke dette innarbeidet i prosedyrer eller den praktiske tilnærmingen av planleggingsprosessen, og det ble derfor ansett som et ekstratiltak ved spesielle utfordringer. Bruken begrenset seg også på grunn av liten tilgang på programvare. Hvis bygningsinformasjonsmodellen ble en større del av grunnlaget for planleggingen ville mulighetene og tilgangen forenkles. Ved utstrakt bruk ville modellen, under hele planleggingsprosessen, gi berikende informasjon til beslutninger. Den eksisterende planleggingsmetoden benyttet seg i mindre grad av de mulighetene som en bygningsinformasjonsmodell gir.

Prosessen var kvalitetssikret igjennom erfaring. Erfaringsgrunnlaget til produksjonslederen, og den erfaring som er dokumentert hos entreprenøren, var helt essensielt for utarbeidelse av fremdriftsplanen. Ansvar for driften og planen var plassert på byggeplass og hos produksjonslederen. Dette gjorde at mange erfaringer ble tatt med i planen og på denne måten ble planen kvalitetssikret. Dette er svært viktig og gjør at planen har støtte blant de utførende på byggeplass. Under byggeprosessen finner vi igjen elementer som er konkretisert i Last planner™ systemet ved at produksjonslederen tar for seg ukesplaner/dagsplaner og har en dialog med bas om disse. Denne erfaringsbaserte prosessen gjorde at planen fikk aksept blant de utførende på byggeplass. En utfordring i denne sammenheng blir å få en effektiv erfaringsoverføring mellom prosjekter og produksjonsledere, og dokumentasjon av dette på en rasjonell måte. Kvalitetssikring var viktig for at planen skal få den nødvendige tiltro og tyngde inn i byggeprosessen, og dette ble ivaretatt ved at planene ble laget av folk med førstehånds erfaring fra byggeplass.

Planleggingsmetoden var rasjonelt oppbygget. Alle ledd i prosessen var bygget på erfaring og derfor godt gjennomarbeidet. Prosessen var blitt utviklet over lang tid slik at de viktige elementene i en planlegging var ivaretatt. Erfaring styrte også driften ved at eksempelvis naturlige buffere i produksjonen blir identifisert og brukt. Dette gjorde planleggingsprosessen rasjonell og utført på en effektiv måte. Samtidig ble produksjonsprosessen styrt på en rasjonell måte der planen ble praktisk brukt etter det som ble ansett å være hensiktsmessig. Dette praktiske synet trekker erfaringer fra tidligere prosjekter og en svakhet ved dette kan være at nye prosjekter har unik design. Dette gjør at optimaliserte muligheter i produksjonen kan bli oversett. Likefullt er planleggingen på mange måter rasjonelt utført.

### 3.3.3 Planleggingsmetode 2 Nåværende planleggingsprosess utvidet med 4D mikroplanlegging.

#### *Introduksjon*

Formålet med denne metoden er å vise en mulig planleggingsprosess ved hjelp av erfaring, risikostyring og 4Dmikromodell. Utgangspunktet er planleggingsprosessen i planleggingsmetode 1. Det betyr at erfaringer og planleggingspraksis her hentet fra denne. 4Dmikromodellen er tenkt brukt av betongproduksjonslederen i sitt arbeid som tegningsunderlag. Dette for å bedre forståelsen og av kommunikasjon omkring planleggingen, og legge til rette for en rikere detaljering av planene. Risikostyring er tatt med for å fokusere på usikkerhetsmomentene ved produksjonen. Planen er aktivitetsbasert etter "PUSH"-prinsippet basert på et planleggingsarbeid på en virtuell bygningsmodell.

#### *Metode med eksemplifisering fra forsøk.*

Ideen er at aktiviteters plassbehov kan visualiseres som volumer i bygningsinformasjonsmodellen(BIM) og på den måten få frem det rommelige aspektet ved byggeplassdriften. Volumene blir på denne måten arbeidsbolker som er elementer fra Last planner™ systemet og stedbaset planlegging. Ideen er hentet og utviklet videre på grunnlag av den mikroplanleggingen som er presentert av Rogier Jongeling (se 4D CAD i planleggingsprosessen). Det er valgt å kalle modellen og 4D CAD resultatet for en 4Dmikromodell jevnfør Jongeling. Til forskjell fra den modell som Jongeling beskriver, og annen 4D CAD modellering, er det i denne oppgaven volumer som legges inn i bygningsinformasjonsmodellen. Det er disse volumene som tidsdefineres og simuleres, og det er disse som skal representere aktivitetene i byggeprosessen.

Tidsintervallet i dette forsøket er tre til fire uker, men med et fokus på dagsetapper. Denne perioden anses som dekkende fordi den får med seg etasjedriften. Det blir fokusert på dagsetapper fordi flyttplanens syklus kan beskrives på denne måten og det fremhever den inndelingen som er beskrevet i planleggingsmetode 1. Selve modelleringen av volumene kan med fordel utføres for hele bygget, noe som forenkler arbeidet ved neste tre ukers periode. Likevel er det ansett tilstrekkelig å simulere kun en periode på tre til fire uker slik etasjedriften, fordelt på dagsetapper og ukesetapper, kommer tydelig frem.

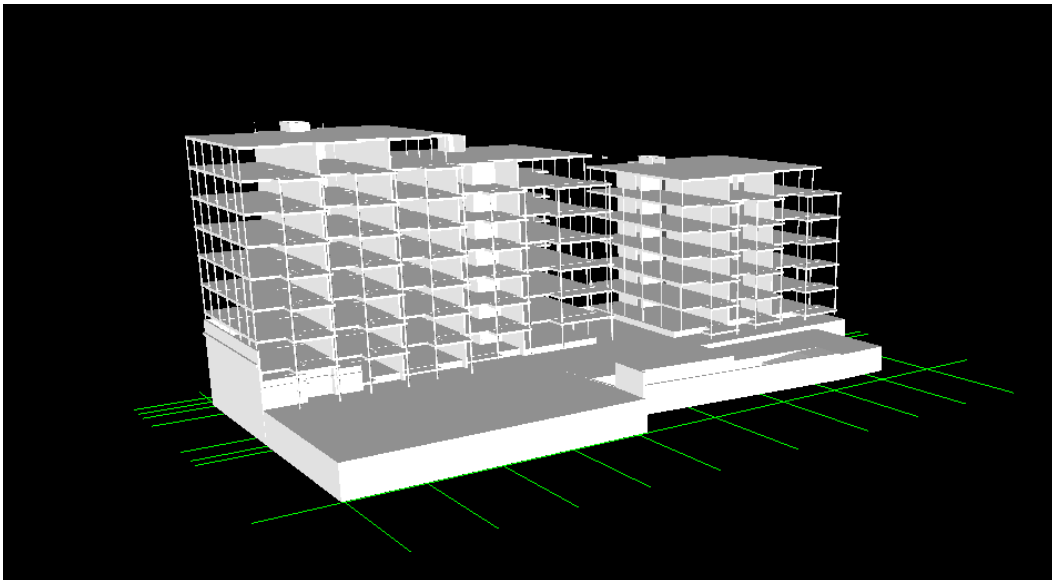
Programmene Autodesk Navisworks Manage 2011 og Google sketchup var utgangspunkt for forsøket. Sketchup er et program hvor det er svært enkelt å lage volumer og plassere disse i et 3-dimensjonalt rom. Autodesk Navisworks Manage 2011 er et program som gjør det mulig å importere bygningsinformasjonsmodeller til visuell vurdering og 4Dmodellering. Bygningsinformasjonsmodellen fra Grefsenkollveien 16 prosjektet er brukt som eksempel i arbeidet med denne metoden (Kymmell 2008).

#### *Visuell forståelse.*

Prosessen starter med å importere bygningsinformasjonsmodellen inn i Autodesk Navisworks Manage 2011 for å kunne foreta en visuell betraktning av bygget og en kontroll av at modellen er konsistent. Dette verktøyet har gode funksjoner for å visualisere og manøvrere.

Det kan importere svært mange av de 3D filene som brukes i dag og koble disse sammen. Ved en import transformerer programmet objekter til overflater, slik at noe av informasjonen i objektene forsvinner. Dette finnes heller ingen mulighet til å endre på modellen i dette programmet så modellen forblir den samme gjennom hele analysen, med mindre det velges å oppdatere modellen fra et annet program (Autodesk 2010; Kymmell 2008).

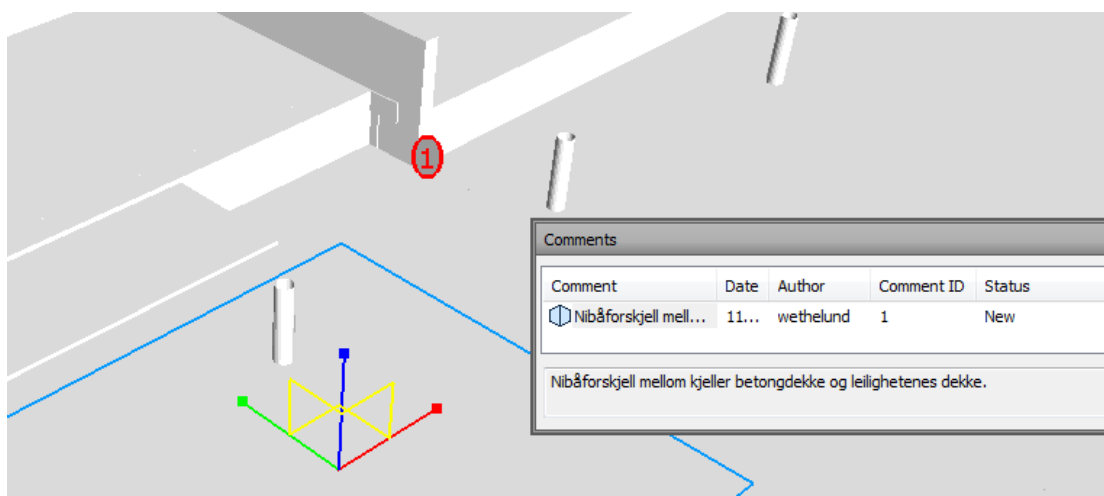
I forsøket ble det benyttet en råbyggmodell fra Grefsenkollenveien 16 i den visuelle analyse(se figur 13). Ønsket resultat av dette arbeidet var en ide om hvordan produksjonen kan utføres på et overordnet nivå. Den byggesyklus som anses optimal kan dokumenteres ved hjelp av en soneinndeling med referanser til aksene. Aksene kan lages i Google Sketshup og sonene kan defineres etter teori fra stedbasert planlegging og lokation-breakdown-struktur. Det innledende arbeidet er med på å hjelpe planleggeren i forståelse av hva som skal produseres og hvordan produksjonen kan skje gjennom en visuell analyse.



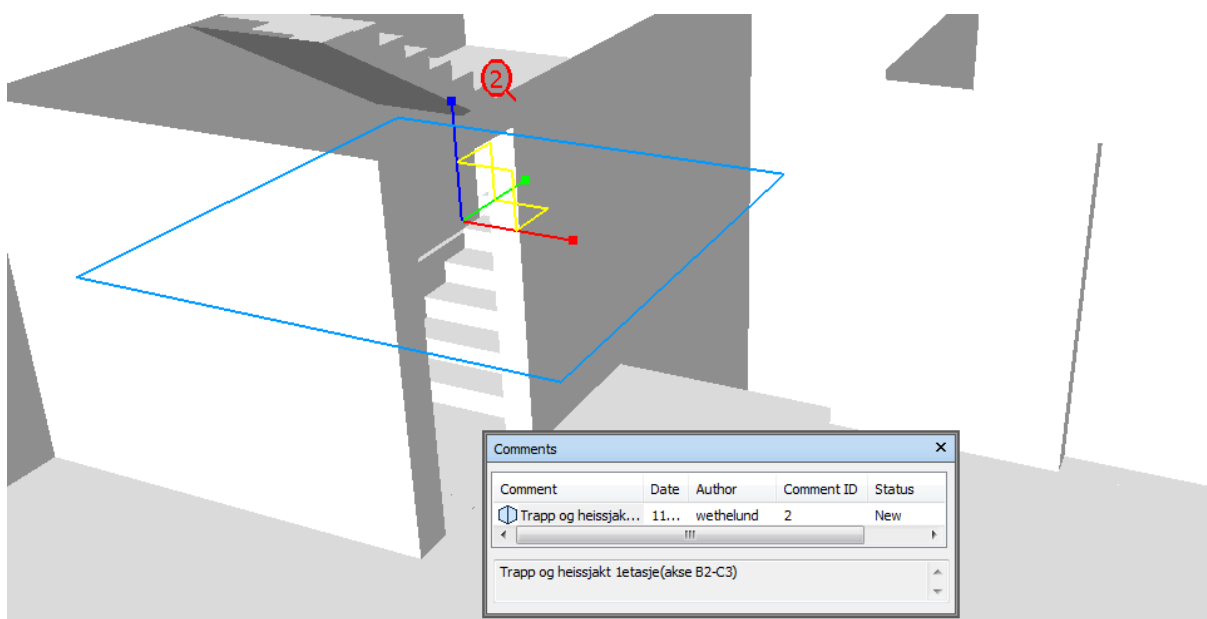
Figur 13 BIM modellen, Grefsenkollenveien 16 med aksjer; forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011

### Visuell granskning og dokumentasjon

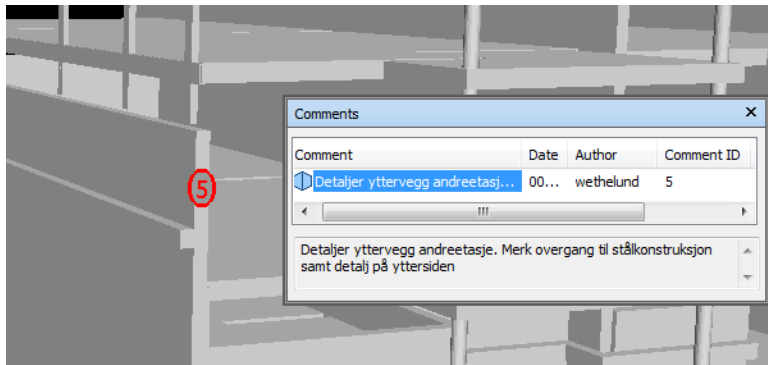
Neste trinn er en visuell granskning av modellen. Planleggeren kan, på grunnlag av erfaring og visualiseringen, lete segz gjennom bygningen for å finne utfordrene konstruksjonsdeler som må dokumenteres og oppfølges. Dette kan gjøres gjennom bruk av ”sectioning”-verktøyet som lager et snitt igjennom modellen. Snittet kan flyttes slik at ønsket detalj kommer frem. Detaljene kan lagres i viewpoints som vist på figurene 14-16, og det kan også legges til tags med kommentarer. Dette gjør det mulig for planleggeren å dokumentere sine funn og adressere disse videre i planleggingen. Kommentarene ligger lagret i modellen og kan hentes frem ved hjelp av en søkefunksjon. Den visuelle granskningen av modellen er viktig for å oppnå en forståelse av hva som skal bygges, og funn kan dokumenteres ved hjelp av funksjoner i programmet(Autodesk 2010).



Figur 14 Detaljering nivåforskjeller med kommentar; forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011



Figur 15 Detaljering av trappe og heisesjakt; forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011



Figur 16 Spesiell detalj i betongvegg, forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011

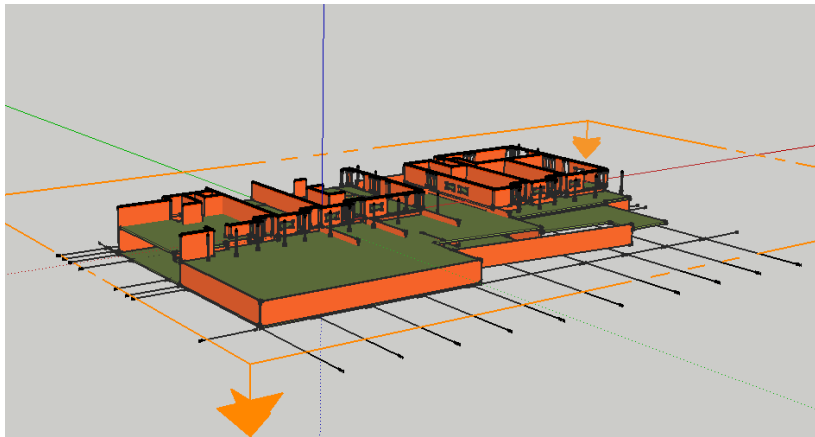
### *Innledende risikoanalyse*

Innledende risikovurdering er neste steg i planleggingsprosessen. Visualiseringen har fremmet en overordnet produksjons-ide og en rekke kritiske detaljer ved konstruksjonen som er loggført i modellen. Disse blir nå viktige i en identifisering av prosjektets usikkerhetsmomenter og utfordringer. Elementene listes opp i kategorier og rangeres etter planleggenes skjønn. Et viktig moment blir å få med seg ID numrene til kommentarene fra modellen i listene. Dette gjør det mulig å følge opp de vurderinger som er gjort. Risikoanalysen kan foretas med modellen som plattform i planleggingsmøter. Resultat er en liste over kategoriserte og rangerte usikkerhetsmomenter som må adresseres videre i planleggingsprosessen.

### *Planlegging av betongarbeider og strengene*

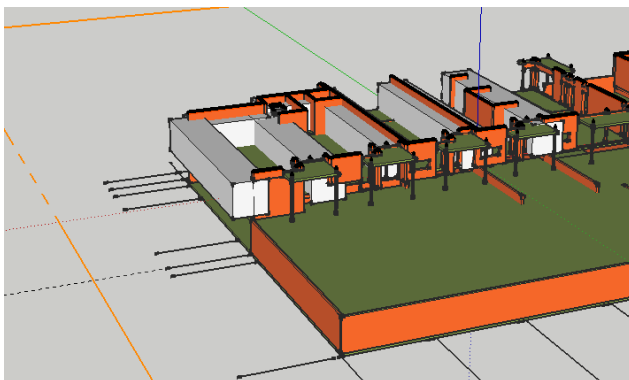
Målet med dette punktet i planleggingsprosessen er å lage strengene og andre aktiviteter i en 4D CAD. Bygningsinformasjonsmodellen i Autodesk Navisworks Manage skal nå berikes med volumer som symboliserer det plassbehovet de forestående aktivitetene har på byggeplassen. Dette blir en form for 4Dmikromodell som vi kjenner igjen fra mikroplanlegging (Jongeling 2006). Arbeidets form arter seg som en dekomponering av byggeprosessen. Elementene av de operasjoner og aktiviteter som skal utføres i det aktuelle tidsrommet blir lagt i arbeidsbolker som visualiseres som volumer. Volumene kan videre være utgangspunkt for planlegging av strengen og aktivitetene som skal foregå på byggeplassen.

Praktisk kan dette arbeidet utføres i Google Sketchup gjennom en modellering. Tegnefunksjonen i dette programmet egner seg fordi de er effektive og opererer på et passende detaljningsnivå. I Google Sketchup tegnes overflater og volumer i et tredimensjonalt rom. Dette kan imidlertid ikke anses som et BIMverktøy, siden informasjonen ikke tilegnes objekter, og det har derfor begrensinger. Mulighetene til å skissere i rommet er likevel nyttige. I forsøket ble programmet brukt ved først å installert en plug-in for å importere IFC2 filer i programmet. (Merk at denne plug-in kun fungerer i versjon 7. av Sketchup og modellen som blir vist i programmet var ufullstendig). Denne modellen egnet seg som et utgangspunkt for skisseringen (se figur 17). Det ble også laget et snitt som forenklet tegneprosessen og aksesystemet ble tegnet inn. Google Sketchup er et praktisk og effektivt program som med enkelhet kan benyttes til å skissere volumer (Kymmell 2008).



Figur 17 Skisse modell med snitt og akser; forsøk Google Sketchup

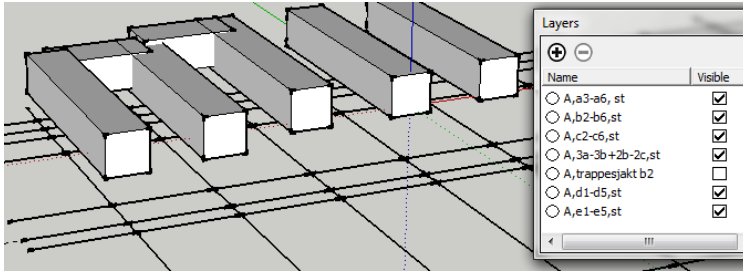
De modellerte etappene og arbeidsbolkene ble organisert i tegnelag (layer). Disse lagene forenkler arbeidet i Autodesk Navisworks Manage, og det er viktig å påse at det tegnes på riktig lag. Etappene eller arbeidsbolkene er de operasjonene som kan tidfestes og uttrykkes ved hjelp av volumer. Disse ble plassert i skissemodellen (se figur 18). Alle ønskede detaljer som farge, 3Dtekst og andre objekter ble så laget og plassert etter ønske. Lagene ble navngitt etter inndeling av bygget (A eller B), bokstav og nummer i aksesystemet og type aktivitet. Denne nummereringen gjorde det mulig å sortere arbeidsbolkene i Autodesk Navisworks Manage 2011, samt at detaljeringen ble loggført i en liste. Det er viktig med god struktur og loggføring av valg slik at volumene med enkelhet kan gjenkjennes i Autodesk Navisworks Manage 2011.



Figur 18 Skissemodell med volumer; forsøk Google Sketchup

Volumene ble så modellert på riktig lag. Detaljer, lengder og kommentarer ble laget i listen. Lagene med IFC modellen ble deretter gjemt (hide, se fig 19) for at kun de ønskelige volumene skal bli med. Modellen ble lagret som et "skp.(6)" format for at det skulle være direkte importerbart til Autodesk Navisworks Manage 2011. Arbeidsbolkene(volumene) for de forskjellige delene av bygget ble lagret separat fra hverandre. Dette forenklet tegneprosessen og gjorde det enklere å kopiere volumene oppover i etasjene. Samme modelleringsprosedyre kan bli brukt for å få frem de forskjellige typer arbeidsbolker.



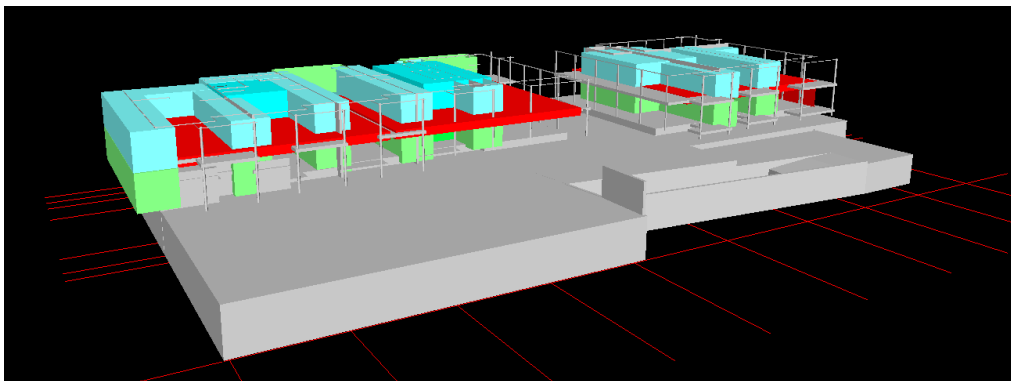


Figur 19 Volumer fordelt på lag/layers, skissemodellen er gjemt; forsøk Google Sketschup

### Autodesk Navisworks Manage 2011

Selve planleggingsarbeidet ble gjort i Autodesk Navisworks Manage 2011. Dette programmet har en 4D CAD funksjon som muliggjør en kobling mellom volum/arbeidsbolk i rommet med tidgitte aktiviteter. Aktivitetene kan etter dette tilegnes tidspunkt og dato for planlagt utførelse og gjennomført utførelse. Dette planleggingsarbeidet kan utføres på mange detaljningsnivåer, og det anbefales å starte med en etasjedrift fordelt i dagsetapper. 4D funksjonen har en rekke valgmuligheter og spesifikasjoner slik at mulighetene for redigering og visualisering av planen er enorm. Volumene i programmet ble brukt til praktisk planlegging på følgende måte:

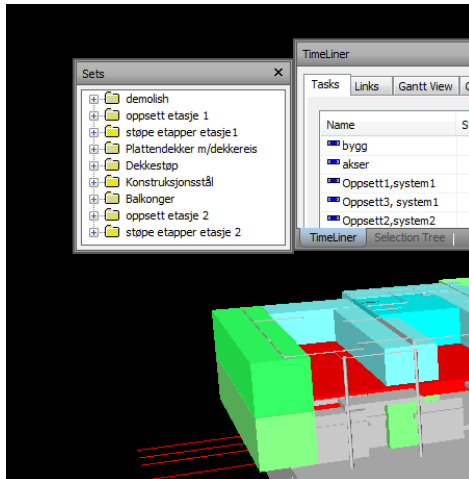
1. Først ble filene fra Google Sketchup importert og plassert på riktig plass i modellen (se figur 20).
2. Ved hjelp av snittfunksjonen ble den aktuelle etasjen synliggjort.
3. Hvert enkelt volum/arbeidsbolk ble valgt med musepekeren og plassert i et sett. Et sett kan bestå av et eller flere valgte objekter og skaper et mappehierarki av de arbeidsbolkene som skal utføres. Dette arbeidet gjør det mulig å lage strengen ut fra modellen.
4. Settene blir så linket til aktivitetene/tasks i 4Dfunksjonen. Dette kan gjøres automatisk.
5. Aktivitetene kan deretter bli beriket med planlagt start og sluttidspunkt. (Her åpner programmet for å hente inn en aktivitetsbasert fremdriftsplan gjennom en direkte link)
6. Hver aktivitet kan defineres på forskjellige måter i simuleringen. For eksempel kalt Construct, Demolish og Temporary.
7. Detaljering av farger, tidsinndeling og transparenthet kan legges til.
8. Simulering. (Autodesk 2010)



Figur 20 1. og 2. etasje med støpeetappesvolumer; forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011

### Detaljering i forsøket.

I forsøket med Grefsenkollen 16 ble det gjort en rekke detaljeringer. Først ble volumene lagt inn, som vist på fig 20, for støping av veggene. Hvert av disse ble koblet til sets kalt ”oppsett” og ”støpetapper” med utdypende detaljering som blant annet etasje, byggdel A eller B og forskalingssystem(se figur 21). Bygningsinformasjonsmodellen ble også lagt inn som et demolish-sett for å få et rammeverk for volumene i simuleringen.



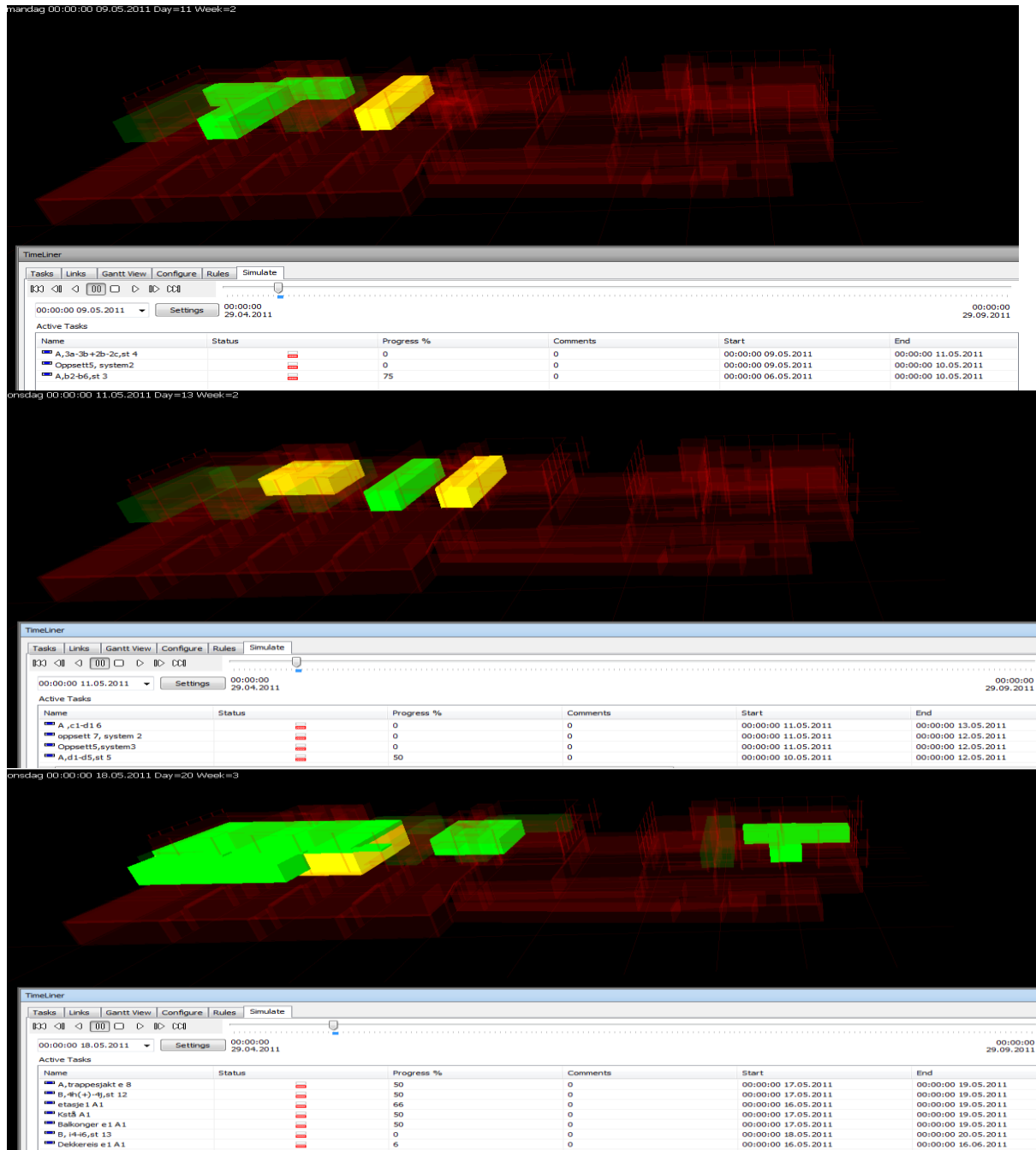
Figur 21 Valg av volum, sets, aktivitet i Timeliner; forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011

For ytterlig detaljering var det viktig å få frem når oppsetten skulle lages, når de andre fag skulle inn, når støpingen kunne foretas og når forskalingen kunne rives. Dette ble gjort ved å definere aktivitetene i henholdsvis Construct (støpetappe), Temporary (oppsett og forberedende aktivitet) og Demolish (BIM). Denne inndelingen gjorde det mulig å tilegne volumene forskjellige farger og oppførsel i simuleringen. Demolish ble definert med en transparent rødfarge gjennom hele simuleringen, mens temporary ble indikert med en gul farge ved start og en transparent lilla inn mot slutten. Construct ble definert med en tydelig grønn farge ved start og den ble transparent grønn etter aktivitetsslutt slik at det som var produsert kom frem. Farger og inndeling er viktig i simuleringen for at detaljene skal komme til uttrykk.

Ytterligere detaljering av modellen ble gjort ved samme prosedyre som støpetappene. For at flere av strengens variabler skal komme frem i simuleringen ble flere detaljer modellert og importert i modellen. Disse var temporære aktiviteter som plattendekkermontering, dekkereis og konstruktivstålmontering. Av konstruksjonsaktiviteter ble dekkestøp og balkongmontering modellert.

Da alle volumer var koblet til aktiviteter ble tidspunkt for hver aktivitet angitt i datoer for planlagt start og slutt. Denne tidsestimeringen bygger på logikk og erfaring. I planleggingsmetode 1 ble veggproduksjonsstrengen definert ved en tredagers overlappende syklus der 16m vegg blir produsert hver dag. Dekkestrengen i planene fra Grefsenkollen 16 ble estimert til å vare i 5 dager. Disse strengene med tilhørende tilleggsaktiviteter ble lagt inn i 4D funksjonen, for så å kjøre simuleringen. Det ble oppdaget feil og tidsestimeringen ble korrigert frem til et ønsket resultat forelå. Aktiviteter for ca 4 uker ble lagt inn i planen. Dette

omfattet arbeidsbolker til første etasje og deler av andre etasje. Figur 23 viser utdrag av simuleringen som var resultatet av dette arbeidet. Alle aktivitetene skulle plasseres i en tidsmessig logisk rekkefølge etter praktisk betongdriftserfaring og med den varigheten som erfaringen tilsier.



Figur 22 Fire forskjellige dagsetapper, Illustrasjoner fra simuleringen; forsøket Autodesk Navisworks Manage 2011

### Risikovurdering av strengene

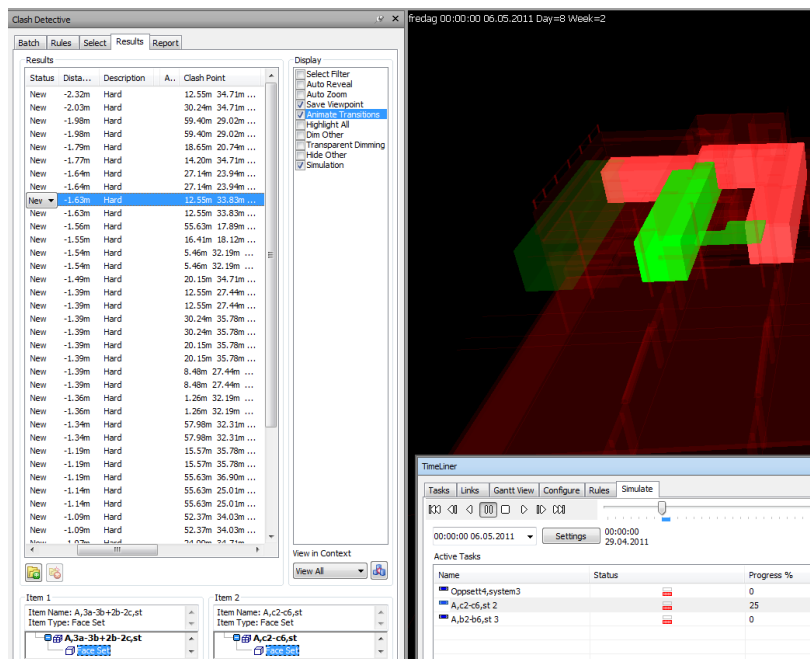
Strengene kan nå vurderes og risikoelementer identifiseres. I arbeidet med strengene legges det opp til en meget stram tidsplan. Denne må nå vurderes slik at nødvendige buffere og målrettede tiltak kan adresseres i planen. Det er også viktig å etterse at alle aktiviteter er med,

og at ingen ting er uteglemt fra planen. Risikostyringen trekkes med i arbeidet gjennom en vurdering av strengene.

4Dmikromodellen blir viktig i det videre risikoarbeidet på spesielt to måter. Autodesk Navisworks Manage 2011 har funksjoner som kan hjelpe i vurderingsarbeidet av strengene. Simuleringen av produksjonen gjør det mulig å vurdere prosessen dag for dag og få en overordnet forståelse samtidig som det kan kontrolleres at alt er med. En videre vurdering kan gjøres ut fra en Clash Detective analyse. Dette er en funksjon i programmet som kan analysere den planlagte produksjonen og rapportere der det finnes kollisjoner mellom objekter/overflater i tid og rom. Resultatet av denne Clash Detective analysen er en rapport som viser kollisjonene i modellen gjennom prosessen. Denne rapporten kan være utgangspunkt for den videre risikovurderingen. 4Dmikromodellen kan benyttes som plattform for vurderingen av planene gjennom simulering og automatiske kontroller (Autodesk 2010).

I forsøket med planleggingen av Grefsenkollveien 16 ble 4Dmikromodellen benyttet som plattform for vurdering av planen. Først ble den visuelle simuleringen kjørt flere ganger gjennom dag for dag visning. Videre ble en Clash Detective analyse gjennomført. I denne funksjonen velges de deler av produksjonen som ønskes analysert. Det ble valgt å gjøre dette for alle de volumer som er lagt inn i modellen. Denne seleksjonen kan selvfølgelig varieres og forskjellige analyser gjennomføres etter hvilke deler av produksjonen planleggerne anser som kritisk. Timeliner ble valgt i Link-kombinasjonsboksen slik at det var tidsplanen som ble analysert. Vurdering av de planlagte strengene kan gjøres ved hjelp av en 4Dmikromodell (Autodesk 2010).

Resultatet av den første kollisjonstesten var 44 kollisjoner som ble datert og stedfestet, samt hvilke arbeidsbolker/volumer som kolliderte. En videre spesifisering av aktuelle volumer ble vurdert og lagt inn i en ny kollisjonstest. Denne testen gav 19 kollisjoner (se vedlegg kollisjonstest 1-10). Hver av disse kollisjonene ble så gjennomgått og vurdert (se figur 23). Alle kollisjonene var ikke kritiske, men mange av de antydte at plassen var svært begrenset. Endringer ble forsøkt i form av buffere mellom aktiviteter, men dette viste seg å være svært tidkrevende da den logiske koblingen mellom aktiviteter ikke var automatisk. Alle konsekvenser av en endring måtte derfor endres manuelt. Dette gjorde kollisjonstesten mest egnet som vurderingspunkter i en risikoanalyse. Er det opplagte feil kan disse endres og hadde planen vært koblet til et annet planleggingsprogram der sammenheng mellom aktiviteter var lagret, kunne denne prosessen vært forenklet. Alle risikoobservasjoner bør loggføres og adresseres videre i planleggingsprosessen. Kollisjonstesting kan være et godt utgangspunkt for en drøfting omkring produksjonens trange og kritiske plasser.



Figur 23 Kollisjon mellom to støpeetapper i en Clash Detectiv analyse; forsøk Autodesk Navisworks Manage 2011

For å belyse kollisjonstestens muligheter ble en rekke analyser utført. Kollisjonstestens muligheter i planleggingen kan være nyttig fordi den viser konsekvenser av de planer som er lagt. I forlengelsen av dette ble det ansett som svært nyttig å analysere konsekvenser av endringer i planen. I forsøket ble en rekke kollisjonstester utført for å kunne belyse dette, men grunnet kompleksitet i modellen viste dette seg vanskelig. Uansett manuelle endringer i aktivitetstidspunkter og varighet, samt flere endringer innstillingen for testen, forble resultat det sammen. To kontrollerende tester ble utført der den første deaktiverte en kolliderende aktivitet og den andre kjørte en test uten tid (Hard test). Begge disse gav andre resultater enn test 2 som ble utført først. Dette underbygger at kollisjonsfunksjonen kan anses som pålitelig, men med begrensede endringsmuligheter. Endrings konsekvens lar seg vanskelig belyse i en kollisjonstest uten videre raffinering av 4Dmikromodell og testinnstillinger.

### Riggplan

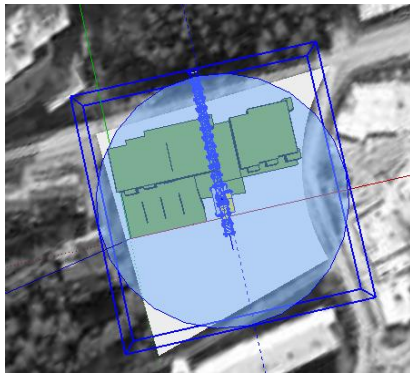
I arbeidet med praktisk utforming av byggeplassen kan 4Dmikromodellen berikes med en riggplan. Når planen for strengene foreligger er det viktig å legge til rette for produksjonen. Disse forutsetningene kan være den praktiske driften av byggeplassens arealer. Detaljering av tomtegrenser, adkomstveier, brakkerigg og lagerplass kan være elementer som kan defineres i planen. Utdfordrende operasjoner kan også simuleres ved hjelp av funksjoner i Autodesk Navisworks Manage 2011 og innvirkningen kan analyseres som for eksempel ved spesielle kranløft eller leveranser. Arbeidet med planleggingen av byggeplassens praktiske arealutfordringer kan forenkles ved hjelp av 4Dmikromodellen.

I forsøket ble dette gjort ved å importere et kart over nærområdet rundt Grefsenkollveien 16 fra Google Earth inn i Sketchup. Tomtegrensene ble skissert og modellen av bygget plassert slik at plassen som var tilr dighet kom tydelig frem (se figur 24). Tomtens terrenghøyder kan også legges inn. Dette kunne gitt en grov vurdering av høyder og kotelinjer på byggetomten. Dette kompliserer videre modellering, og det ble valg å ikke gjøre dette i forsøket.

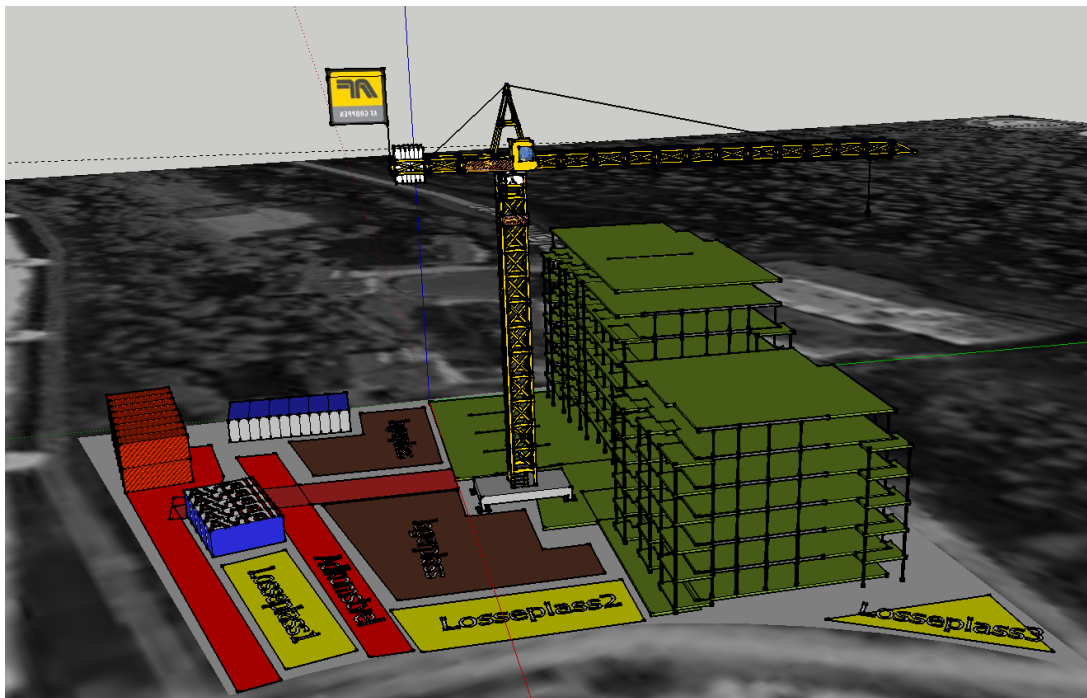


Figur 24 Tomtegrenser, byggets grenser i kart; forsøk Google Sketchup

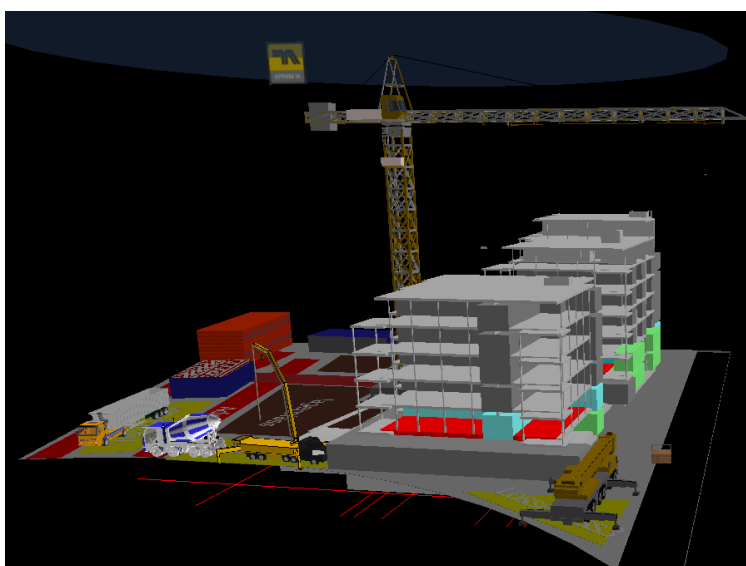
En enkel visuell analyse av nærområdet gjorde det mulig å vurdere forskjellige adkomstmuligheter og losseplasser til byggeplassen. En videre analyse kunne funnet mulige snuplasser og parkeringsplasser for lastebiler i nærheten og markert disse. For at adkomstveien skulle kunne defineres var det viktig å få toppkranen plassert. En kran modell ble importert og kranens rekkevidde ble visualisert med en transparent sirkel som vist i figur 24. Forslaget som foreligger er en kran med spenn på 44,5m. Vurderinger og forskjellige alternativer kraner og plasseringer kan enkelt utføres ved å redigere modellen. Modellen kan videre berikes med for eksempel brakkerigger, lagercontainere, avfallscontainere, losseplasser og lagerplasser. Objekter med mobilkraner og lastebiler kan legges til for plassvurderinger. 4D mikromodellen kan berikes med riggplan slik at byggeplassarealer kan tilrettelegges for god produksjon og den kan enkelt visualiseres ved bruk av Autodesk Navisworks Manage 2011 (se figur 25-27).



Figur 25 Kranspenn visualisert med transparent sirkel; forsøk Google Sketchup.



Figur 26 Riggplan ; forsøk i Google Sketchup



Figur 27 Riggplass med illustrert objekter i Autodesk Navisworks Manage 2011

### *Plassorganisering og leveranseplan.*

En overordnet plan over ressursbruk på byggeplass kan utarbeides på grunnlag av 4Dmikromodellen. På en byggeplass skjer det flere operasjoner samtidig og dette kan gjøre situasjonen uoversiktlig. Denne oversikten kan forbedres ved en prioriteringsplan som de forskjellige aktørene kan forholde seg til. Dette gjelder spesielt leveranser, bruk av lagerplass og kranbruk. Vegg og dekke strengene er den underliggende driveren i produksjonen og for denne ressursbruken. Praktisk kan denne planleggingen av prioriteringen skje ved notering i Microsoft Office Excel og en ”steg for steg” analyse av simuleringen fra 4Dmikromodellen. ”Steg for steg” analyse kan gjøres ved trinnvis gjennomføre simuleringen med tidsintervaller på 3 timer. Dette arbeidet gjør det mulig å utarbeide en lett detaljert prioriteringsplan for plassorganiseringen og leveransene ut av 4Dmikromodell simuleringen.

I 4Dmikromodellen av Grefsenkollveien 16 ble en ”steg for steg” analyse ble gjennomført. Gjennom å simulere produksjonsstrengene ble tid og dato for betongleveranse, plattendeleveranse og balkongleveranse notert. Planen oppdaget utfordringer i overgangen mellom første og andre etasje. Veggstrengen fikk ikke startet støping før etter tre dager fordi dekket A1 ikke var ferdig. Dette kan fungere som en buffer for veggstrengen, men en optimalisering ville gjort overgangen mellom etasjene mer effektiv. Balkongmonteringen fikk for liten krankapasitet slik at forbedrende tiltak burde gjøres. Hvis plattendeleveransen kunne startet en dag tidligere, eller andre effektiviserende tiltak ble innført, kunne dette vært forbedret. 4Dmikromodell simuleringen gjorde det mulig å utarbeide en prioriteringsplan, og forstå de plass- og kapasitet utfordringene som oppsto.

### *Risikovurdering av riggplassmodell og plassorganisering.*

Ved avslutning av planleggingen bør en risikovurdering gjøres. Utgangspunktet for vurderingen er de momenter som ble avdekket i prioriteringsplanen og riggmodellen. Riggmodellens plassforbruk kan visuelt vurderes og endringer kan utføres. Momenter som ikke direkte kan forbedres i modellen bør loggføres i prioriteringsplanen, slik at de kan fokuseres under produksjonen. Prioriteringsplanens punkter bør vurderes og utfordringer merkes. Enkelte dager vil kranens kapasitet være en flaskehals. Dette bør vurderes nærmere slik at ikke forsinkelser oppstår. Utfordringer bør videre adresseres i planleggingen og føre til optimalisering av planene og endringer i 4Dmikromodellen.

### *Kommunisere fremdriftsplanen.*

Punkter fra risikovurderingene og 4Dmikromodellen kan være grunnlag for kommunikasjon med aktører på byggeplassen. Hver uke må det gjennomføres et møte med bas for de forskjellige arbeidslag slik at planene blir forstått og etterfulgt. I disse møtene er god kommunikasjon helt essensielt. 4Dmikromodell simuleringen kan gjøre denne kommunikasjonen enklere. Relevante punkter fra risikovurderingene bør også kommuniseres og diskuteres. Ved en samlet diskusjon omkring 4Dmikromodellen og risikovurderingene kan kommunikasjonen med aktørene på byggeplass gjøres effektivt og forståelig.



### 3.3.4 Drøfting av Planleggingsmetode 2- Nåværende planleggingsprosess utvidet med 4D mikroplanlegging.

Planleggingsmetode 2 forsøker å forbedre eksisterende planleggingsmetode 1 ved bruk av 4Dmikromodell til planlegging av strengene/aktivitetene og riggplanen, samt å trekke inn risikostyring. En ny planleggingsprosess av betongfremdriften ble eksemplifisert ved hjelp av prosjektet Grefsenkollveien 16. Planleggingsmetode 1 var utgangspunkt for den prosessen som ble foreslått i denne metoden. Prosessen ble vurdert kvalitativt, og fokuset ble rette mot de svakheter som ble observert ved metode 1 og utfordringer ved modelleringen.

Det første som ble oppdaget var at 4Dmikromodellen trakk inn elementer fra stedbaseret planlegging. Modellen gav uttrykk for de rommelige aspektene og lot planleggeren ta med disse i planleggingen. Arbeidet ble fordelt i arbeidsbolker gjennom de modellerte volumer, og modellen gav planleggeren mulighet til å dele inn bygget i stedbaseret soner. Dette kan bety at en stedbaseret planlegging av overordnet plan kunne forenklet denne planleggingsmetoden ytterligere, siden dette medfører at bygget allerede er delt inn i soner og aktiviteter er knyttet til disse. Like fullt gir denne planleggingsmetoden viktig informasjon i en planleggingsprosess som er aktivitetsbasert, og kan gjøre at planen oppnår resultater i forhold til arbeidsflyten som vi kjenner igjen fra stedbaseret planlegging. Planlegging ved bruk av 4Dmikromodell vil kunne trekke inn rommelige aspekter i en planlegging, noe som er spesielt viktig i en aktivitetsbasert planleggingsprosess.

Gjennom modelleringen i forsøket viste 4Dmikromodellen seg å være enkelt å lage. Ved å lage skall-volumer og plassere disse i bygningsinformasjonsmodellen ble 4Dmikromodellen laget. Eastman trekker frem en negativ side ved 4D CAD modellering ved at den i praksis er vanskelig å lage på grunn av bygningsinformasjonsmodellens manglende oppbygning. Bygningsinformasjonsmodellen blir i utstrakt grad produsert uten tanke på produksjon slik at ved en 4D modellering må objektene redigeres. Ved hjelp av den programkombinasjonen som ble brukt i metode 2 viste det seg at dette problemet kunne unngås. Volumene ble enkelt produsert og plassert inn i 4D CAD funksjonene, slik at redigering av bygningsinformasjonsmodellen ikke var nødvendig. Dette legger likevel en begrensning i forhold til automasjon av prosessen da alle volumene må bli laget ved manuelle metoder. Dette gjør at en endring i planene nødvendigvis må praktisk følges opp gjennom ytterligere modellering. Like vel antydes det i metode 2 en modelleringsprosess som er sterkt forenklet, og legger til rette for enorm detaljeringmulighet. Volumene kan også gjenbrukes ved repeterende konstruksjoner i for eksempel forskjellige etasjer med lik veggoppbyggelse. I Sketchup modellen kan volumer enkelt kopieres, redigeres og legges på nødvendige lag. Modelleringsprosessen som foreslås i metode 2 er av praktisk art, og anses som en forenklet måte å lage en 4D CAD.

Modelleringsens enkle prosess gav en rik mulighet til detaljering av planen. Den enkle prosessen legger til rette for at planleggeren selv kan utføre modelleringen. Ved bruk av programkombinasjonen kan planleggeren nesten ubegrenset berike 4Dmikromodellen med hensiktsmessige detaljer. Dette gir muligheter til forbedret kommunikasjon ved å presentere forståelige detaljer. I første rekke gjelder dette ved bruk av tegneverktøy, importering av objekter og kartunderlag i Sketchup. I forsøket ble blant annet objekter for kranen importert

direkte og skalert, rotert og plassert. Med bruk av Autodesk Navisworks Manage 2011 har planleggeren også funksjoner som kan berike simuleringen med ytterligere detaljer. Dette kan føre til overdreven detaljering. Faren for dette blir imidlertid ansett å være av mindre betydning, siden det er planleggeren selv som produserer modellen og vet hvilke detaljer som er viktige å fremheve. På bakgrunn av den enkel 4Dmodelleringen kan hensiktsmessige detaljer bli laget av planleggeren.

Selv om modelleringen kan utføres med enkle programverktøy vil en implementering av 4Dmikromodell hos entreprenør møte utfordringer. Det er begrenset med systemer, kunnskap og kompetanse hos entreprenør omkring bruk av disse verktøyene, og dette er helt essensielt for å kunne bruke metoden effektivt. Dette er antatt den største utfordringen for bruk bygningsinformasjonsmodeller og 4D mikromodell hos entreprenør i dag. Likevel er dette et økonomisk spørsmål og disse elementene må kunne imøtekommes ved en bred satsning fra entreprenørens side. Systemer som kan beskrive informasjonsflyt kan utvikles og kompetanseheving i praktisk bruk av verktøyet vil kunne løse dette. Manglende systemer, kunnskap og kompetanse omkring verktøyene begrenser en mulig implementering av verktøyene.

Ved modelleringen av arbeidsbolkene/volumene i Sketchup oppstod det noen utfordringer i forsøket. Organiseringen i lag og bygningsinformasjonsmodellens inkonsistens i dette programmet skapte utfordringer. Dette gjordet at arbeidsbolkene måtte kontrolleres i forhold til modellen i Autodesk Navisworks Manage 2011. Volumenes plassering i bygningen fungerte likevel godt. En optimal løsning ville vært en bedre skissemodell i Sketchup ,slik at arbeidsbolkene kunne planlegges direkte ut av denne. Modelleringsarbeidet i Sketchup hadde enkelte utfordringer, men gav et tilfredsstillende resultat.

I forsøket ble det vist at visualiseringen av bygningsinformasjonsmodellen kunne gi en overordnet forståelse og være et godt utgangspunkt for en konstruksjonsgranskning. Ved å kunne manøvrere seg rundt i modellen ble prosessen med forståelse av bygget svært forenklet. Detaljeringen av utfordrende løsninger i konstruksjonen gjennom viewpoints var en ryddig og oversiktlig måte å arbeide med planene. Dette kan danne et oversiktlig grunnlag for kommunikasjon omkring vanskelige detaljer. En utfordring i dette arbeidet er konsistensen til modellen. Er det feil i modellen kan dette svekke påliteligheten til tegningunderlaget. En produksjonsleder trakk fram visualisering som et nyttig verktøy, men det var opplevd at de detaljer som var ønsket gransket heller ikke fantes i modellen. Likevel er den visualiseringen som enkelt kan vises ved hjelp av en bygningsinformasjonsmodell egnet til å gi en viktig forståelse av bygget som ingen andre planuttrykk kan gi. Modellen kan gjennom visualisering i tre dimensjoner bli en plattform for drøfting og kommunikasjon omkring produksjonen.

Tidsestimeringen av aktivitetene i forsøket var utfordrende. Da volumene var plassert i Autodesk Navisworks Manage 2011 begynte selve tidsplanleggingen ved hjelp av 4D CAD funksjonen i programmet. Selve koblingen mellom arbeidsbolker/volum og aktivitet gikk effektivt tross enkelte manuelle metoder. Det var selve strengoppbygningen ved defineringen av tiden til aktivitetene som tok lang tid. I hver aktivitet ble dato og tidspunkt for planlagt start og slutt lagt til. Det måtte gjennomføres mange simuleringer underveis for at strengene

skulle passe. Ved korrigeringer var det ingen logisk sammenheng mellom aktivitetene, slik at alle berørte aktiviteter måtte endres manuelt. En forbedring av prosessen kunne vært en direkte kobling mellom Autodesk Navisworks Manage 2011 modellen og et annet planleggingsprogram, som Microsoft Project, slik at denne prosessen kunne forenkles. Defineringsprosessen av tidspunkt og varighet av aktivitetene var en tidkrevende prosess.

4D mikromodellen var egnet til vurderinger av produksjonen og gav en helhetlig forståelse av denne. Simuleringen i forsøket viste en rekke detaljer og gav et uttrykk for den logiske oppbygningen av produksjonen. Ved å manøvrere seg frem og tilbake, steg for steg, i byggeprosessen tidsforløp kunne en visuell analyse bli utført. Dette kan skape en oversikt og forståelse av prosessen, fordi volumene assosierer aktiviteter og deres rekkefølge for seeren, slik det antydes av Sigurdsson (se: 4D CAD- mulige effekter. 2.4.3). Eastman og Jongeling trekker frem at en slik visualisering kan belyse rommelige, logiske og organisatoriske utfordringer i en prosess. Ved å kunne stoppe i simuleringen kan også utfordrende aspekter på det gitte tidspunkt fokuseres. På bakgrunn av dette kan det sies at 4D simuleringen gir et grunnlag for vurdering og forståelse av produksjonsprosessen.

Ved å bruke programmets Clash Detective ble en kollisjonstest utført i forsøket og denne gjorde det mulig å analysere kollisjoner mellom volumer underveis i produksjonen. Resultatet var en rapport over mulige plassrelaterte utfordringer. Disse kunne enkelt analyseres gjennom automatisk genererte viewpoint og adresseres i en risikovurdering. Denne type funksjoner skaper helt nye muligheter i planleggingsprosessen. Ved for eksempel en eventuell endring eller forsinkelse i planene kunne en slik form for analyse vist konsekvensene av disse, slik at eventuelle utfordringer kan bli oppdaget. Denne type konsekvensanalyse ble ikke utført i forsøket, men en ytterligere raffinering av modellen og analysen vil dette med stor sannsynlighet la seg gjøre. Analysen var enkel å utføre og gav rom for korrigering av flere aktuelle variabler. Dette gjør det mulig for planleggeren å utføre en rekke analyser effektivt og slik belyse de deler som antas kritiske. Vi ser at kollisjonstesten i forsøket hadde sine begrensninger, men dette verktøyet gir planleggeren muligheter til å analysere produksjonsplanen automatisk.

I riggplanen må alle variabler med og den må kunne endres underveis. Dette viste forsøket at var mulig gjennom en oppbygging av riggplanen ved bruk av den modelleringsprosessen som ble foreslått. Nyttig informasjon ble enkelt generert fra eksempelvis internett og viktige detaljer som tilgjengelig areal ble enkelt modellert og visualisert. Viktige objekter som toppkran ble direkte importert og kranens spennvidde ble enkelt vist ved bruk av tegneverktøy i programmet. Detaljeringen ble ikke for nøyaktig slik at modellen forble på skissenivå, men antall rommelige detaljer som kunne berikes i modellen ble ansett å være tilnærmet ubegrenset. Blant annet ble det modellert adkomstveier, lagerplasser og brakkeriggplass. Denne modellen gjør det mulig å fokusere på kritiske plasser i riggplanen og vise disse. Eastman trekker frem behovet for å trekke inn omverdenen rundt byggeplassen og byggeplasslogistikk i en 4D CAD, slik at kritiske faktorer kan bli belyst. Dette lar seg vurdere gjennom kartgrunnlag og tredimensjonal visualisering av området. Forsøket viste at planleggeren har mange muligheter til å detaljere og vurdere aspekter i riggplanen ved bruk av 4D mikromodell i planleggingen.

I forsøket ble det uarbeidet en prioriteringsplan for plassorganisering, leveranse og krankapasitet, men denne ble ikke som forventet. En prioriteringsplan ble laget på grunnlag av en ”steg for steg” analyse av 4D simuleringen og denne planen skulle være et styringsinstrument for logistikken på byggeplassen. De forskjellige aktørene kunne forholdt seg til denne planen over byggeplassens ressurser, spesielt i forhold til krankapasiteten. På grunn av den aktivitetsbaserte planleggingen etter push-prinsippet ble mange nødvendige aktiviteter presset inn i denne planen, og disse var ikke ”sammenkoblet”. Det ble oppdaget flere og flere behov ved gjentatte analyser og dette førte til et omfattende korrigerende av tidspunktene for mange av aktivitetene. Det viste seg svært vanskelig å få med alle nødvendige behov og flere av aktivitetene ble tilslutt planlagt mellom andre uten nærmere tidsdefinering. På bakgrunn av det høye detaljeringsnivået, den stramme tidsplanen og den vanskelige endringshåndteringen ble prioriteringsplanen lite pålitelig og vanskelig å bruke.

Underveis i planleggingsprosessen ble det lagt opp til flere risikovurderinger for å styre usikkerhetsmomenter i forhold til planen. Dette ble gjort fordi muligheter og risikoer må bli identifisert og behandlet underveis i prosessen, slik at ikke usikkerhetsmomenter blir glemt. Alternative grunnlaget for disse vurderingene ble konkretisert, som eksempelvis kollisjonstest, mens selve vurderingene ble ikke videre utdypet. Kenley og Seppänen har uttrykt åtte konkrete aspekter som skaper usikkerhet i en byggeprosess og disse bør vurderes spesielt i en risikostyring. Vurderingene av disse aspektene må skje i samråd med flere av aktørene og nødvendige tiltak må bestemmes i felleskap. Det er viktig at planleggingsmetoden legger fokus på hendelser som kan forekomme og adresserer disse videre i planleggingen. Risikostyring blir ansett som en naturlig del av planleggingen og elementer må identifiseres underveis.

I forsøket ble kommunikasjonsmulighetene ved en 4D mikromodell vist. Eastman hevder at 4D CAD gir forbedrede kommunikasjonsmuligheter i en planleggingsprosess. Dette fordi modellen gjør det mulig å koordinere tidsforbruk og arealforbruk på forskjellige tidspunkt, og forenkler mulighetene til å utføre ”hva om?” analyser. 4Dmikromodellen, med bygningsinformasjonsmodellen som grunnlag, kan benyttes som plattform for kommunikasjon. Dette ble vist gjennom det visuelle inntrykket av bygningen og byggeprosessen forsøket gav. Denne form for kommunikasjonen kan forebygge feil og unngå missforståelser slik at enighet og forståelse mellom aktørene i prosessen kan oppnås. Dette kan resultere i økt ansvarsbevissthet hos aktørene. Disse mulighetene til god kommunikasjon omkring en 4Dmikromodell blir ansett å være av stor nytte i planleggingsprosessen (Eastman).

### **3.3.5 Planleggingsmetode 3-4Dmikroplanlegging og Last Planner™ system.**

Lean Construction og produksjonsteori etter PULL/trekke prinsipp har dannet et nytt perspektiv planleggingssammenheng. Etter dette perspektivet starter den praktiske byggeprosessen på byggeplass der ledige ressurser trekker nye oppgaver. Dette skaper et sug i systemet som skal trekke nødvendige ressurser og forutsetninger, slik at det oppstår produksjonsflyt gjennom byggeplassens områder. Planleggingsprosessen i planleggingsmetode 3 springer ut fra denne tilnærmingen til produksjon og ser på mulighetene ved bruk av 4Dmikromodell og Last planner™ system i planlegging av betongproduksjon.

Selv om den praktiske produksjonen bygger på planlegging etter et sug fra byggeplassen er det nødvendig med en godt planlagt prosess. Dette skal ivaretas gjennom prosessplan og en periode plan. Prosessplan tilhører kategorien makroplanlegging, den er en overordnet plan og vil ikke bli ytterligere behandlet. Periodeplanen kan utføres på samme måte som planleggingsmetode 2 gjennom delene visualisering, gransking, 4Dmikromodellering og riggplanlegging. I arbeidet med periodeplan skal blant annet arbeidsflyt og arbeidsbolk inndelingen skje (se Last Planner™). Forutsetninger for planleggingsmetode 3 er god planlegging gjennom en periodeplan bygget opp av planleggingsprosessen i metode 2, hvor arbeidsbolker er trukket fra prosessplanen og lagt i logisk rekkefølge.

### Metode

Utgangspunktet for arbeidet er 4Dmikromodellen som foreligger fra periodeplanen og i forsøket ble 4D mikromodellen fra planleggingsmetode 2 benyttet. En foreløpig grov tidsestimering er foretatt for at etappenes rekkefølge skal kunne la seg simulere, mens den endelige tidsestimeringen ennå ikke er foretatt. Strengen for veggproduksjon og dekkeproduksjon er definert som aktiviteter i rekkefølge i 4Dmikromodellen slik at den overordnede rekkefølgen er planlagt og funnet optimal. Betongproduksjonslederen har også en ferdig riggplan og risikovurderinger av produksjonens elementer. 4Dmikromodellen er plattform for planleggingsarbeidet av kommende ukes aktiviteter.

En ukeplan med sunne aktiviteter er målet med denne planleggingsprosessen. Planleggingsprosessen skal definere hva som med høy sannsynlighet "vil skje" den kommende uke. Dette på grunnlag av at de aktiviteter som plasseres har alle syv forutsetninger for å kunne gjennomføres. Ledig sted på byggeplassen indikerer de to første forutsetningene ved at tidligere aktivitet er fullført og det finnes tilstrekkelig areal for at arbeidet skal la seg utføre. Rydding av plass blir adressert for å frigjøre nødvendig plass. I samråd med bas fra de forskjellige aktørene på byggeplassen kontrolleres de resterende fem forutsetningene. Disse er nødvendig materiell, bemanning, informasjon, vær og at leveranse av materialer er klarert. Hver enkelt arbeidsbolk blir plassert i planen etter enighet med de utførende aktører. Prioriteringsplan blir laget underveis og utfordringer med mulig løsning notert. "Sunne" aktiviteter blir utgangspunkt for hva som "vil skje" den kommende uke og tidspunktene for aktivitetene definert.

Praktisk vil planleggingsarbeidet kunne fortone seg på flere måter i en 4Dmikromodell. 4Dmikromodellen kan være et hjelpende instrument i det praktiske arbeidet med en ukeplan. I Last Planner™ systemet blir tidsestimeringen av aktiviteter gjort på planleggingsmøter på byggeplassen i slutten av foregående uke. De forskjellige aktørene har "trekt" frem forutsetningene for sine aktiviteter og på møte blir disse grunnlag for de aktiviteter som blir lagt inn i planen. I dette arbeidet kan 4Dmikromodellen fungere som plattform for kommunikasjon. Hver "sunn" aktivitetsbolk blir lagt inn i planen ved at 4Dmikromodellen fra periodeplanen blir beriket med tidene. Nye aktiviteter kan legges til ved modellere disse i Sketchup eller hente volumer fra modellen i Autodesk Navisworks Manage 2011. Slik kan hver dag i den kommende uke planlegges på grunnlag av "sunne" aktivitetsbolker, med den

visuelle forståelsen i 4Dmikromodellen. Basert på dette kan enighet mellom aktørene kan oppnås.

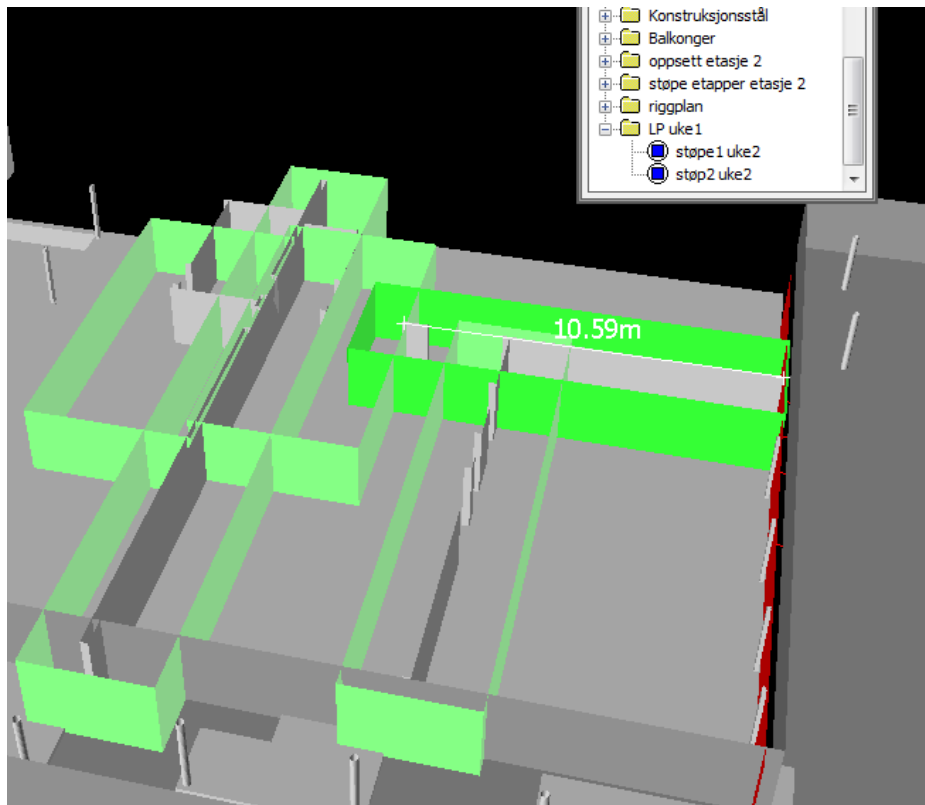
### *Forsøket*

Observasjoner i dette forsøket er i hovedsak bygget på teori visualisert i 4Dmikromodellen. Last Planner™ er en, til nå, ikke anvendt planleggingsprosess i AF Bygg Oslo. Dette gjorde en relevant erfaringsinnsamling umulig. Like fullt anses de praktiske elementene i betongproduksjon, som herdetid og produksjonshastighet, som universelle uansett prosess. I forsøket med denne metoden ble en uke planlagt med datoene fra 16-20 mai 2011. Denne uken var det igangsettelse av dekkearbeider over første etasje. Det antas at de aktiviteter som legges til er ”sunne” med forutsetningene materialer, utstyr og informasjon.

4Dmikromodellens funksjon blir visning av de plassrelaterte forutsetningene for en ”sunn” aktivitet. Dette betyr blant annet at ledig plass på modellen skaper et trekk etter tilgjengelige ressurser. Finnes denne kapasiteten blir de lagt inn i uke planen. Bemanningskapasiteten er den første begrensing i kapasitet og er beregnet på grunnlag av erfaringer i planleggingsmetode 1 der tre arbeidere i vegglaget produserer 16m vegg pr. dag og fem arbeidere i dekkelaget bruker fem dager på et dekke. Planleggingsmetode 3 vurderes på grunnlag av en foreslått planleggingsprosess bygget på teori omkring Last Planner™ systemet, men med betongdriftens rammevilkår.

Før planleggingsarbeidet i forsøket startet ble det gjort to defineringer. Først ble bygget delt inn i sonene A1(akse a til c+), A2 (akse c+ til f) og B1(akse h-til j). Dette er sonene som trekker ressurser og ved behov kan disse, ved hjelp av 4Dmikromodellen, deles inn i mindre soner etter visuell forståelse. Den andre defineringen var aktiviteter som ikke direkte var nødvendig for framdriften, men som hadde forutsetninger som ”sunn” aktivitet, ble notert i et sett i 4Dmikromodellen (se reserve arbeidsbolker i teori). Dette gjorde det mulig å ha reserveaktiviteter dersom arbeidet i strengen skulle møte uforutsette hindringer. For å forenkle planleggingsprosessen ble det laget en soneinndeling av bygget samt en mappe for loggføring av mulige reserveaktiviteter.

4Dmikromodellen ble brukt til finne det aktuelle starttidspunkt og kontrollere hvilke støpeetapper som var utført og hvilke oppsett som var klar fra forrige ukes aktivitet. Denne informasjonen ble hentet ved en simulering av periodeplanen. Det kom frem at oppsettet til etappe 9 var laget i sone B1 og at sone A1 stod ferdig til dekkeproduksjon. Veggproduksjonen ble behandlet først og ved hjelp av snitt og målefunksjoner ble arbeidsbolkene analysert og tidsbestemt. Arbeidsbolkene fra periodeplanen ble manuelt utvalgt og lagt i sets med nye navn angitt etter produksjonsuke og detaljer(se figur 28). En ytterligere detaljering av 4Dmikromodellen ble gjort ved at ferdig oppsett ble markert med transparent gult på den dagen mellom oppsett start og støpeetappe. Dette gjorde det mulig å se forskalingsprosessen i ytterligere detalj.



Figur 28 Utvelgelse av etapper på grunnlag av informasjon fra 4Dmikromodellen; forsøk Last Planner™ Autodesk Navisworks manage 2011

Alle periodeplanens aktiviteter ble deaktivert unntatt de aktiviteter som overlapper ukene. Dette ble gjort for å fokusere på den aktuelle uke. 4Dmikromodellens soner og aktivitetspakkenes volum gav et visuelt inntrykk av hvilke plasser som produksjonen kunne starte. Den endelige tidsdefineringen ble foretatt ved gjentatte simuleringer der en og en aktivitetsbolk ble plassert. Etappenes rekkefølge og tidspunkt ble definert ved en visuell analyse av de plasser som var tomme og klar for produksjon.

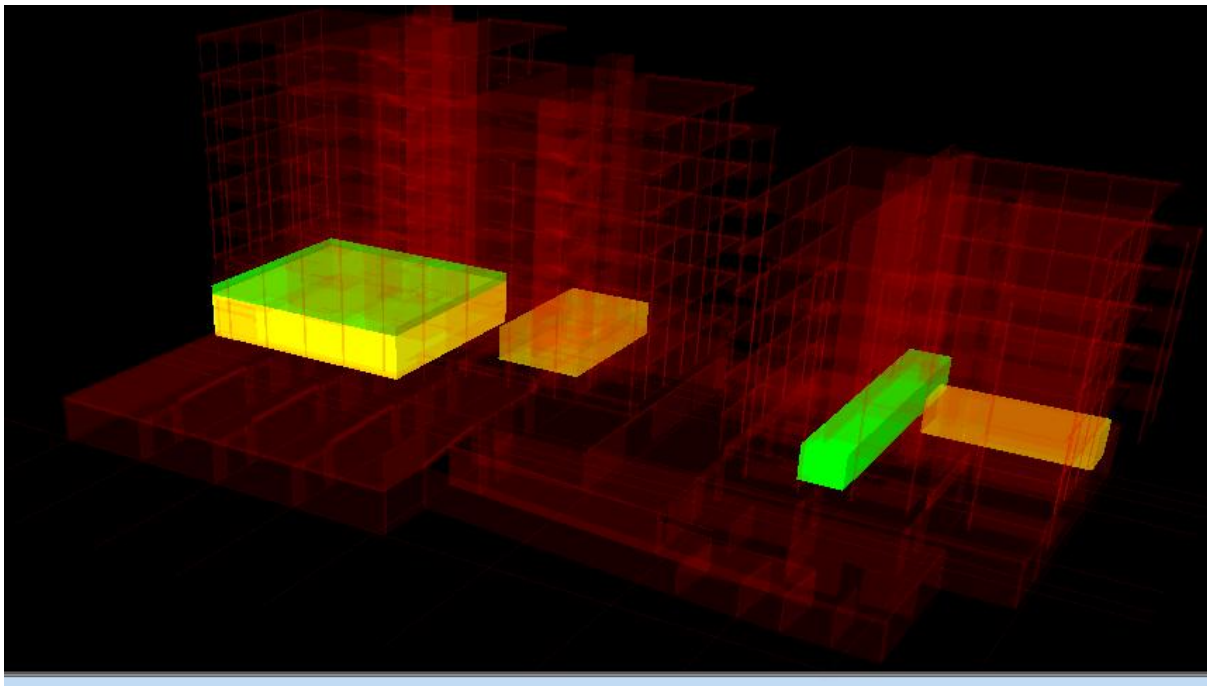
Dekkeproduksjonen ble planlagt på lik måte som veggene. Sone A1 var uten produksjon og montering av plattendecker og dekkereis kunne starte. 4Dmikromodellen gjorde det mulig å detaljere flere aspekter ved dekkeproduksjonen. I forsøket ble plattendeckermontasje, dekkereis, konstruksjonsstål produsering, balkongmontasje, sikringsarbeider på dekket og dekestøp modellert og sammenhengen vist i simulering.

Forutsetningene for arbeidsbolkene kan videre vurderes ved bruk av 4Dmikromodellen. Når forsøket 4Dmikromodell var vurdert gjennom simulering av produksjonen kunne forutsetningen kontrolleres. Planen kunne eventuelt endres dersom begrensninger i byggeplassens ressurser gjorde at forutsetningen for produksjonen ikke var tilstede. I forsøket ble krankapasiteten visualisert ved å gjennomføre en "steg for steg" analyse av produksjonen. Intervallet var 12 timer, slik at arbeidsdagene ble delt i to; før og etter lunsj. En prioriteringsplan for kranen kunne blitt utført på grunnlag av denne analysen.

*Etterkontroll og forbedring*

Etter ukens produksjon er det i Last Planner™ lagt opp til kontroll og forbedring. I slutten av produksjonsuken har de ”sunne” aktivitetsbolkene foregått. En ajourføring av planen må gjennomføres og en PPC (prosent planlagt gjennomført) kan defineres. Dersom PPC ikke er av høy karakter må grunnen til feil i produksjonen identifiseres. I teorien ( se Last Planner™) kan dette, i henhold til Japansk produksjonsteori, gjøres ved spørsmålet hvorfor stilles fem ganger. 4Dmikromodellen kan i dette arbeidet fungere som en plattform for kommunikasjon og fremheve de punkter som blir funnet ved bruk av viewpoints og kommentarer. Disse punktene må så bli adressert og utbedret. 4Dmikromodellen kan brukes som plattform for kommunikasjon i en årsaksanalyse av feil i produksjonen.

Resultatet var blant annet en detaljert 4Dmikromodell som var optimalisert i forhold til plassbehov. Her trakk uproduktive områder på byggeplassen nye arbeidsbolker. Figur 29 er en illustrasjon fra denne simuleringen og viser aktivitet i alle områder. Gult volum er ”oppsett” eller temporær konstruksjon, gul transparent er oppsett dag to, og grønn er støpe/konstruerende aktivitet. Volumene er vist i en transparent rød modell av bygget. Resultatet gav et godt visuelt inntrykk av planlagt produksjon optimalisert for plassbehov.



Figur 29 Illustrasjon fra simulering av ukeplan; alle områdene har fargedefinert aktivitet; forsøk Last Planner™ Autodesk Navisworks Manager 2011

### 3.3.6 Drøfting av Planleggingsmetode 3-4Dmikroplanlegging og Last Planner™ system.

Denne metoden kan beskrives som en Last Planner™ planleggingsprosess med bruk av 4Dmikromodellen som tegningsunderlag og kommunikasjons plattform. Den er på mange måter en utvidelse av planleggingsmetode 1 og 2, men med en vridning i perspektivet av produksjonsprosessen.



### *Forsøk*

Forsøket viste at 4Dmikromodellen kan være et hensiktsmessig underlag for planlegging av ukeplaner etter Last planner™ systemet. Modellen gav et uttrykk for status av produksjonen da det ferdig produserte arbeidsbolkene kunne vises. Dette gjorde det enklere å se hvilke arbeidsbolker som var aktuelle i planleggingen ved for eksempel overlapping av produksjonen mellom ukene. Ved bruk av simulering kunne de aktuelle arealer, som stod uproduktive på byggeplassene, vises underveis i uken. Dette gjorde det mulig å visualisere grafisk de to plassrelaterte forutsetningene ved ferdigstillelse av tidligere aktivitet, samt den plass som var til rådighet for aktivitetspakkene på byggeplassen. Like fullt er det flere forutsetninger enn plassbruken som en ”sunn” aktivitet består av, og disse lar seg vanskelig visualisere direkte. 4Dmikromodellen kan i denne sammenhengen fungere som en plattform for indirekte analyse, ved at de andre forutsetningene blir kontrollert med en steg for steg analyse. Gjennom simuleringer og struktureringer av aktivitetsbolkene i lag kunne modellen brukes til å tidsdefinere de forskjellige aktiviteter og skape arbeidsflyt på en visuell måte. Det ble vist gjennom dette forsøket at 4Dmikromodell kan forenkle planleggingsprosessen etter Last Planner™ systemet ved å visualisere og forstå de plassrelaterte forutsetningene for arbeidsflyt.

*Last Planner™ planleggingsprosess basert på teori presentert i kapittel 2.3.5*

### *Pull*

Det har skjedd et skifte innen planleggingsteori, da det er byggeplassens arealer som trekker den neste aktivitet og ikke de estimerte planer som målrettet presser aktivitetene frem. Lean Construction argumenterer for andre tilnærminger til produksjon på byggeplass enn de som er dominerende hos entreprenører i dag. Forskjellen gir en fundamental endring i forhold til planleggingsarbeidet i forkant av produksjonen. Planleggeren skal fokusere hva som ”kan skje” og ”bør skje”, ikke en plan som nødvendigvis ”skal skje”. Det er først på byggeplass at ansvarlig produksjonsleder tar den endelige avgjørelsen på hva som ”vil skje”. Planene i tidligfase blir på denne måte ikke forutbestemmende, men heller fokuserende på mulige produksjonsprosesser. Svakheter ved dette perspektivet kan være at målene for produksjonens leveringer, delmål og ferdigstillelse, blir diffuse i planleggingen og underordnet at det er byggeplassens ressurser som styrer prosessen. Dette kan skape vanskeligheter med å få oversikt i hvordan produksjonshastigheten er i forhold til overordnet plan. Aktivitetene blir utført i et jevnt tempo som muliggjør effektiv utnyttelse av arealer, men siden den overordnede plan ikke er en aktiv del i planleggingen kan denne hastigheten vise seg å være for lav. Det som blir bestemmende for produksjonen er de faktiske forhold som legger til rette for produksjon på byggeplass, ikke de estimerte tidene i planen (Bertelsen).

Fokus på flyt vil kunne forbedre prosessen. Lean Construction hevder at et pull-perspektiv på produksjonen vil kunne skape bedre flyt og gi raskere produksjonstid. Shingo peker på den forskjellen som kan defineres mellom prosess og operasjon. Operasjonene har tradisjonelt sett vært fokusområdet i planleggingen, men ved å rette fokus på den overordnede prosess vil produksjonen enklere la seg helhetlig vurdere. Alle ledd i denne prosessen skal gi merverdi, dette gjør flytting av forskaling og lager/ buffere må unngås. Opplagte flaskehalsen kan på

denne måten kartlegges og buffere kan elimineres ved for eksempel ”just in time” leveranse. Dette vil nødvendigvis skape en plan som er sårbar for kødannelse mellom aktiviteter siden det ikke er rom for buffere. For å beholde påliteligheten til planene blir hindringer for slik flyt kartlagt ved pull-prinsipp, fordi slik planlegging legger opp til ressursenes naturlige produksjonstempo. I teorien oppstår ikke utilsiktet kø fordi planene er lagt på grunnlag av de faktiske forhold på byggeplassen. Planlegging med pull-perspektiv vil kunne gi forbedret flyt i prosessen og dette ville kunne gi en optimalisert prosess.

4Dmikromodellen er en antatt god måte å behandle arbeidsflyten på. I stedbasert planlegging blir flyt ansett å være ressurser som flyter gjennom plasser. Hindringer av disse ressursene kan visuelt bli behandlet fordi flaskehals og kritiske plasser kan komme til uttrykk. Arbeidsflyten kan ytterligere bli behandlet fordi 4Dmikroplanlegging legger tilrett for planlegging ved pull-prinsippet. Praktisk gjør den det fordi uproduktive områder i simuleringen trekker nye ressurser. Forsøket viste at 4Dmikromodell kan være et godt hjelpemiddel i arbeidet med å kartlegge arbeidsflyt.

#### *Produksjonsenhetskontroll*

I forsøket ble det vist at en 4Dmikromodell vil kunne hjelpe planleggeren i en årsaksvurdering av en feilslått plan. En slik vurdering vil kunne skape en optimalisert produksjonsprosess ved at feil og utfordringer blir aktivt kartlagt og eliminert. Feil i produksjonen oppdages i Last Planner™ systemet ved en måling av Prosent planlagt utført(PPC) ved periodens slutt. En visuell kontroll og forståelse ved bruk av 4Dmikromodell kan forenkle arbeidet med å finne årsakene til at produksjonen ikke gikk som planlagt. Modellen kan antatt forenkle denne årsaksvurderingen både for planleggeren alene og med andre involverte parter gjennom en forenklet kommunisering omkring modellen.

Denne planleggingsprosess gjør det antatt enklere å kartlegge utfordringer og optimalisere produksjonen. I planleggingsmetode 2 ble det foreslått en risikostyring, men denne tok i stor grad kun de forhold som planleggeren oppdager. Vurderingene med utfordringene forblir på et overordnet nivå i forhold til den årsaksvurderingen som presenteres i Last Planner™ systemet. I tillegg gjør målingen av Prosent Planlagt utført(PPC) det mulig å følge opp planene og vise om produksjonen faktisk blir bedre. Last planner™ produksjonsenhetskontroll gjør det mulig å kartlegge flaskehals i produksjonen samtidig som planens kvalitet vises i PPC.

#### *Oppsummering*

Planleggingsmetode 3 gir produksjonslederen antatt mer fleksibilitet enn ved bruk av andre planleggingsmetoder. Siden den endelige planen blir bestemt helt inn til uken den skal utføres kan endringer og korrigeringer fram til dette tidspunkt foretas uten store konsekvenser. Den overordnede plan innehar alle de aktiviteter som skal utføres i en logisk rekkefølge, men disse er ikke endelig tidsdefinert. Er planen av annen karakter kan dette medføre at planleggerne tar forhastede beslutninger for at planen skal følges. Ved et fokus på kontroll og optimalisering vil produksjonen kunne bli forbedret. Alle disse trekk, med flere, er med på å danne en pålitelig plan.

Pålitelighet i planen er svært sentralt argument siden planer generelt har en tendens til ikke å bli fulgt, men forblir et idealisert bilde av hvordan ting burde vært gjennom perioden. Ved å korte ned tidsperspektivet betraktelig og si at innen for denne perioden skal det la seg gjøre å lage en tilnærmet pålitelig plan. Den svake siden av denne type planleggingsmetode er at det finnes liten erfaring omkring metoden hos entreprenører i Norge. Denne prosessen og forsøket er i stor grad basert på teori, men dette grunnlaget er i ferd med å endres ved at den internasjonalt blir utprøvd i forskjellige typer prosjekt. Ved at planene blir mer pålitelig vil grunnlaget for optimaliseringen og utfordringer lettere fokuseres, og enighet om disse kan bli gjort. Dette er et bedre alternativ enn en usikker, idealisert plan som ikke stemmer med virkeligheten.

### 3.4 Drøfting og vurdering av de tre planleggingsmetodene mot behovsdefinisjonen.

Oppgaven omhandler tre metoder for å komme frem til en fremdriftsplan for betongproduksjon. Disse har som utgangspunkt at hovedfremdriftsplanene og andre overordnede planer foreligger. I teorien er det beskrevet forskjellige måter å komme frem til disse overordnede planene på. Dette kan være aktivitetsbasert og stedsbasert planlegging, samt underliggende produksjonsteori etter PUSH eller PULL prinsippet. Forskjellen mellom grunnlagene gjør at de tre planleggingsprosessene har forskjellige utgangspunkt, spesielt i forhold til hvordan dette grunnlaget brukes og hvor "fastlagte" disse planene anses å være. En eventuell automasjon av hele planleggingsprosessen vil derfor ha forskjellig karakter, men siden vi starter med et mikroperspektiv vil disse sidene ikke bli omtalt. De tre alternative prosessene har forskjellige røtter i den overordnede planen, men prosessene omtales som separat fra disse.

Det er viktig å presisere at det er klare sammenhenger mellom de tre metodene og de kan anses som en gradering av utvidelse fra nåværende praksis. Metode 1 er den nåværende praksis og utgangspunkt. Metode 2 kan anses som en praktisk utvidelse av metode 1 med bruk av bygningsinformasjonsmodell, 4Dmikromodell og utstrakt risikovurdering. Metode 3 er i hovedsak en endring i den grunnleggende oppfattelsen av produksjonsteori og fokus i planen. Derfor kan den anses som en utvidelse av metode 1 på et teoretisk plan. Metode 3 er også foreslått på grunnlag av praktisk bruk av elementene i metode 2.

I tabell 2 er det laget en ytelsesvurdering av de forskjellige metodene. Denne er laget på grunnlag av de behov som er definert i behovsdefinisjonen. De tre metodene er så vurdert kvalitativt av den enkelte metodes drøftinger, men det er viktig å fremheve at det er metode 2 og 3 som er fokusert i ytelsesvurderingene. Dette er potensielle utvidelsene av nåværende praksis og er de interessante metodene å vurdere. Metode 1 er den nåværende praksis og innehar derfor grunnlaget for behovsdefinisjonen. Den er likevel tatt med i ytelsesvurderingen fordi den kan fremheve i hvilken grad de forskjellige aspektene er berørt i eksisterende planleggingspraksis, samt hvilken grad de to nye metodene er en forbedring/forverring av metode 1. Poengene er definert etter planleggingsmetodens evne til å ivareta de aktuelle behov. Disse evnene er vurdert i tre kategorier i; mindre grad, middelsgrad og større grad, og angitt med tallverdi. Resultatet av ytelsesvurderingen og sammenligningen av de tre metoder er drøftet under.

Tabell 2 Ytelsesvurdering

| Behov til Planleggingen - forbedringspotensialet      | (Planlegging smetode 1) | Planleggingsmetode 2  | Planleggingsmetode 3 |
|---|-------------------------|-----------------------|----------------------|
| Mindre grad -1<br>Middels grad 0<br>Større grad +1    | (Eksisterende metode)   | 4Dmikromodell/Risik o | Last Planner™ system |
|   |                         |                       |                      |
| <i>planene utarbeidelse</i>                           |                         |                       |                      |
| Dynamikk  | (-1)                    | 0                     | 1                    |
| Pålitelige planer                                     | (0)                     | 1                     | 1                    |
| Tydelige planer                                       | (-1)                    | 1                     | 0                    |
| Fokus på å optimalisere prosessen                     | (-1)                    | 0                     | 1                    |
| Plan med tydelige grensesnitt mellom fag              | (-1)                    | 0                     | 0                    |
| Adressere aktivitetenes forutsetninger                | (-1)                    | -1                    | 1                    |
| Tverrfaglig prosess                                   | (0)                     | 0                     | 0                    |
| Kommunisere et helhetlig uttrykk for produksjonen     | (-1)                    | 1                     | 0                    |
| Fokusere på erfaring                                  | (1)                     | 0                     | 0                    |
|   |                         |                       |                      |
| <i>Plan under byggeprosess</i>                        |                         |                       |                      |
| Mulighet til detaljering (nødvendige detaljer)        | (0)                     | 1                     | 1                    |
| Oppfølging og kontroll(inneha prosedyrer)             | (0)                     | 0                     | 1                    |
| Styring av logistikk                                  | (-1)                    | -1                    | 0                    |
| Krankapasitets styring                                | (-1)                    | -1                    | 0                    |
| Enighet om planenes utforming                         | (0)                     | 1                     | 1                    |
| Aktualisere vær og klima utfordringer                 | (0)                     | 0                     | 0                    |
| Kontroll og oppfølging av nye ressurser på byggeplass | (-1)                    | -1                    | 0                    |
| Endringers konsekvens og planenes korrigeringssevne   | (-1)                    | 1                     | 1                    |
| Praktisk og økonomisk oppfølging av kvalitet          | (0)                     | 0                     | 0                    |

|   |              |          |           |
|---|--------------|----------|-----------|
| Koordinering og kommunikasjon av riggplass                  | (0)          | 1        | 1         |
|   |              |          |           |
| Planens detaljeringsnivå                                    |              |          |           |
| Vise byggt tekniske utfordringer                            | (0)          | 1        | 1         |
|   |              |          |           |
| Få frem plassrelaterte behov                                | (0)          | 1        | 1         |
| Fremdriftsplaner som lett kan kommuniseres for koordinering | (-1)         | 1        | 1         |
|   |              |          |           |
| Oversiktlig flyttplan grunnfestet i praktisk erfaringer     | (1)          | 1        | 1         |
| Plassorganisering   | (-1)         | 0        | 0         |
| Risiko vurderinger av byggeplassens ytre miljø              | (-1)         | 1        | 0         |
| Detaljert leveranseplan                                     | (0)          | 0        | 1         |
| Bruk av Bygningsinformasjonsmodell                          | (0)          | 1        | 1         |
| Loggføring av beslutninger og erfaringer                    | (0)          | 0        | 0         |
| <b>sum</b>  | <b>(-11)</b> | <b>9</b> | <b>15</b> |

### 3.4.1 Drøfting av ytelsesvurderingen

De gjennomførte forsøkene viste at Last planner™ var den metoden som best ivaretok dynamikken i planleggingsprosessen. Dette var begrunnet med at metoden fokuserer på forutsetninger for produksjon, enighet mellom aktører og arbeidsflyt. Dynamikk på byggeplasser er viktig for at produksjonen skal foregå optimalt. Den imøtekommes ved god kommunikasjon og forståelse mellom aktørene på plassen. I den eksisterende metoden hos entreprenør blir dette overlatt til personene på byggeplassen og ikke videre spesifisert. Dette vil fungere i de tilfellene da det er god kjemi mellom de aktuelle personene, men den har sine svakheter den dagen kjemien blir brutt på grunn av en uoverensstemmelse. 4Dmikromodell metoden retter fokus mot bedre kommunikasjon slik at dynamikkens utfordringer på byggeplass kan bli synliggjort og forklart for aktørene. På bakgrunn av den gjennomgatte teori og drøfting er Last Planner™, med bruk av en 4Dmikromodell, den metode som aktivt forsøker å ivareta dynamikken på byggeplass.

Det påpekes i ytelsesvurderingen at pålitelige planer er i størst grad fokusert i metode 3. En pålitelig plan er den plan som i størst mulig grad stemmer med det som faktisk blir utført på byggeplassen. All planlegging forsøker å nå dette målet, men byggeprosessen kompleksitet gjør dette vanskelig. Noe av det elementære ved en plan er at den kan, med stor grad av sannsynlighet, tidfeste sluttidspunkt for en oppgave slik at neste aktivitet kan startes. Last

Planner™ fokuserer spesifikt på å oppnå pålitelige planer gjennom optimalisering og korte tidsperioder. Dette er forsøkt også i metode 2 gjennom simulering, detaljering og risikovurdering. Komplexiteten i byggeprosessen skapte utfordringer til denne metoden. I metode 1 blir påliteligheten ansett å være vanskelig å oppnå og en detaljering i den retning uhensiktsmessig. Prosessen søkes heller mot å være løsningsorientert i produksjonsfasen. Med dette kan det sies at metode 3 forsøker å imøtekomme virkeligheten slik at planene blir mest mulig pålitelige.

Basert på forsøket i metode 2 og den teori omkring 4D CAD ble det i ytelsesvurderingen belyst at 4Dmikromodell gjør planleggingen tydeligere. Denne modellen kan fungere som en god plattform for kommunikasjon. Bruk av 4Dmikromodelle og bygningsinformasjonsmodell gjør det mulig å få frem relevante detaljer i en plan. Blant annet er det hensiktsmessig å få adressert detaljer av praktiske og byggeteknisk karakter i en plan. Tydelige planer anses som en kvalitet fordi det forenkler kommunikasjon og gjør det mulig for de forskjellige aktørene å klargjøre de grensesnitt som eksisterer mellom aktivitetene. Mangfoldet i planuttrykk gjorde at metode 1 oppleves som mindre tydelig. For Last Planner™ oppleves og så å ha en mindre tydelig plan fordi det ikke foreligger en fastlagt plan før en uke i forkant av arbeidsperioden. Dette kan skape utfordringer for grensesnittet mellom aktører. Like vel argumenteres det for at planen som blir laget i Last Planner™ er ytterligere pålitelig enn de andre metodene slik at dette blir en nyanse forskjell mellom tidlige og tydelige planer i metode 2, og pålitelige, men utydelige i metode 3. På grunn av dette kan det påpekes at metode 2 skaper de tydeligste planene og er derfor godt egnet til kommunikasjon.

Det antydes i teorien at metode 3 direkte fokuserer på å optimalisere produksjonen og aktivitetenes forutsetninger. Gjennom produksjonsenhetskontroll og arbeidsflytkontroll blir disse områdene aktualisert og planlagt i denne metoden. I metode 1 blir utviklingen ivarettatt gjennom planleggenes egen erfaringsopparbeidelse. Dette er en rasjonell måte og i ”god entreprenør ånd”, men skaper ingen systematisk løsning på utfordringene. Metode 2. vurderer i større grad produksjonen for å finne muligheter for bedre produksjonsprosess, men det forblir i en risikovurdering og visuell vurdering. Dette argumenterer for at metode 3 i størst grad søker å optimalisere og fokusere på aktivitetenes forutsetninger slik at produksjonen forbedres.

Det legges til grunn i drøftingen av metode 2 at 4Dmikromodell er en forbedret måte å kommunisere et helhetlig uttrykk for produksjonen på. Gjennom visuell simulering viser denne modellen fremdriftsplanen av betong, og ønskede detaljer kan fokuseres. Denne kommunikasjonsplattformen blir i første rekke benyttet i metode 2, men er tilgjengelig som periodeplan i metode 3. Dette blir i teorien som en viktig effekt av 4D CAD/4Dmikromodell, og kan skape bedre forståelse mellom aktører i planleggingsfasen og gjennomføringsfasen fordi den gir en reel ”film” av hvordan produksjonen er tenkt. Metode 2 og 3 benytter 4D mikromodell og kan kommunisere omkring virtuelle detaljer ved prosessen. Metode 1 søker å skape den samme kommunikasjonen gjennom plantegninger. Dette kan være en hensiktsmessig metode i mindre komplekse byggprosjekter, men på bakgrunn av teori og forsøk der prosessen antas å være kompleks vil 4D CAD/mikromodell være den enkleste måten å kommunisere et helhetlig uttrykk.

Hele behovsdefinisjonen og forsøk i metode 1 viser at det er planleggerens erfaringer som er den grunnleggende basen for planleggingen. Dette gjør det viktig at relevant erfaring kommer med i beslutninger. Ved bruk av forskjellige hjelpemidler gjør prosessen seg mindre fokusert på erfaringer og verktøyet forsøker eksempelvis å visualisere det som tidligere kun ble formet i planleggerens eget hode. Dette fokuset på hjelpemidler og verktøy kan trekke vekk denne praktiske forståelsen og svekke planenes kvalitet. Erfaring er som tidligere beskrevet en måte å kvalitetssikre planene. Dette legger til grunn at metode 1 er mest egnet til å ivareta fokuset på erfaring.

Baser på det teorigrunnlag som foreligger blir planleggingsmetode 3 ansett å ivareta oppfølging og kontroll på en god måte. Disse aspektene er viktig i en byggeprosess og gjelder eksempelvis ved oppstart av nye aktiviteter på byggeplassen eller oppfølging av kvalitet på det produserte. Planleggingsmetode 1 og 2 ivaretar dette ved bruk av manuelle metoder og svakheten med dette er at det kan bli oversett. Planleggingsmetode 3 aktualiserer dette behovet gjennom produksjonsenhetskontroll. Dette antyder at kontroll og oppfølging blir best behandlet og planleggingsmetode 3 fordi den her er en aktualisert integrert del av metoden.

I intervjuene ble det uttrykt at logistikk, krankapasitet, plassorganisering og detaljerte leveranseplaner var spesielt kritiske deler av byggeprosessen. Dette problemet ble imidlertid ikke tilfredsstillende løst i noen av metodene. Disse aspektene kan gi betydelige flaskehals i produksjonen siden kapasiteten er begrenset. Likevel er det antatt at planleggings metode 3 kunne møte disse utfordringene bedre enn de andre to metoder. En av grunnene til dette er det korte tidsperspektivet som er fokusert. En annen grunn er disse planenes fokus på forutsetninger for driften og den årsaksvurdering som er foreslått ved lav Prosent planlagt utført (PPC). Planleggingsmetode 2 forsøkte å utarbeide konkrete prioriteringsplaner, men detaljeringsbehovet gjorde denne sårbar for endringer. Dette viser at logistikkproblemer, krankapasitet, plassorganisering og leveranseplaner, om mulig, kan best ivaretas av planleggingsmetode 3.

Behovsdefinisjonen, teori og intervjuene legger til grunn at enighet om planens utfordringer kan best utføres ved god kommunikasjon og drøfting av planene med alle aktører på byggeplassen. De forskjellige aktørenes innspill og behov bør i vesentlig grad ivaretas under prosessen. I alle metodene er dette ivaretatt ved regelmessige møter, men metode 3 utmerker seg ved at aktørene er tatt med på et tidligere stadiet i prosessen. I denne metoden lages en prosessplan som er avhengig av alle aktørenes innspill til å skape en logisk rekkefølge. Samspillet utvikler seg ved at periodeplan og ukeplaner utarbeides gjennom møter der aktørene forplikter seg til sine avgjørelser. Metode 2 og 3 tar i bruk bygningsinformasjonsmodell og 4Dmikromodell i de respektive prosesser. Dette er tidligere argumenter positivt i forhold til kommunikasjon og forståelse om de konkrete detaljer.

Planleggingsmetode 1 møter store utfordringer i forhold til endringer i planen. Dette kommer blant annet av at planene er mindre redigerbare siden der er uttrykt på utskrevne ark. En vesentlig utfordring for planleggeren er uforutsette hendelser, noe som skaper behov for endringer i planene. Derfor er det et behov for å ha et planunderlag som er korrigeringsvennlig og som kan vise korrigeringenens konsekvens. Dette kan imøtekommes i

større grad ved å bruke en redigerbar 4Dmikromodell som planunderlag. Her kan eksempelvis aktivitet start og tidsforbruk enkelt korrigeres og få direkte utslag i simuleringen.

Konsekvensene kommer tydeligere fram visuelt og kan også analyseres nærmere ved bruk av spesialfunksjoner som kollisjonstest. Disse forholdene gjør at planleggingsmetode 2 og 3 har fordel av et mer korrigerbart planunderlag i form av en 4Dmikromodell.

I forsøk metode 2 er riggplanens form vist forbedret. Kommunikasjon vedrørende riggplanens utforming arter seg forskjellig ved at planen i metode 1 består av fysiske tegninger på ark, mens den i metode 2 og 3 er formet digitalt i 4Dmikromodellen. Riggplanen har flere behov ved at den trenger rik detaljering (alle plassrelaterte behov ved produksjonen må legges til), den må kunne korrigeres underveis i prosessen og den må være av en slik form at den lett kan kommuniseres. Riggplanlegging tegnet på ark er en effektiv, rasjonell og enkel måte å lage denne planen på. Endringer kan enkelt legges til for hånd, men denne måten er uansett veldig begrenset. Tas det med rikelig med detaljer blir den lett uoversiktlig og den egner seg heller til spesiell vurdering. En digital riggplan, som er foreslått i metode 2 og 3 ved bruk av 4Dmikromodell, har nesten ubegrensede muligheter til detaljering. Objekter kan skjules og vises etter behov og det er mange endringsmuligheter og kommunikasjonsmuligheter i en slik digitalplan. Det unike er også muligheten til visuell vurdering av plass og vurderinger som kan begrunne valg, eksempelvis vurdering av toppkrans plassering og spennvidde. Det antas på bakgrunn av dette at en digital plan, som i en 4Dmikromodell, er en hensiktsmessig måte å lage og berike riggplanen.

I forsøk metode 2 ble det vist at 4Dmikromodellen kan få frem plassrelaterte behov i planen. Alle aktivitetene på byggeplass tar i større eller mindre grad av de begrensede arealer. Disse behov er av vesentlig betydning for produksjonen grunnet i mange plassrelaterte problemer. Denne detaljeringen lar seg vanskelig gjennomføre ved manuelle metoder på ark slik at metode 1 møter her klare begrensninger. I en 4Dmikromodell kan disse behovene visuelt oppdages og korrigerende tiltak kan iverksettes på grunnlag av dette. Bruk av arealer kan vises og vurderes på bakgrunn av en 4Dmikromodell og dette gir metode 2 og 3 en fordel i planleggingsprosessen.

I drøftingen av planleggingsmetode 2 nevnes det at denne metoden ivaretar byggeplassens ytre miljø. Byggeplassen er en del av det omkringliggende samfunn og må ta sine forhåndsregler i forhold til dette. Planleggingsmetode 2 tar dette opp til en risikovurdering som kan resultere i bedre behandling av disse aspekter. I planleggings metode 1 og 3 er ikke dette berørt i vesentlig grad. Dette argumenterer for at metode 2 ivaretar, i større grad, de hensyn til byggeplassens ytre miljø ved å aktualisere utfordringer i en risikovurdering.

Metodene 2 og 3 kan møte utfordringer allerede i kontraktfase. I teoridelen ble det uttrykt at 4D CAD modellering, og dens utnyttelsesmuligheter, er begrenset i forhold til når entreprenøren kommer inn i planleggingsfasen. En rekke beslutninger vedrørende produksjon muligheter blir tatt allerede ved tidlig prosjekteringsfase. Dette gjelder også modellens oppbyggelse og kvalitet. Disse aspekter kan gjøre en 4D CAD mindre funksjonell tidlig i planleggingen. Fordelen ved å bruke 4Dmikromodell med berikelse av volumer gjør dette mindre utfordrende fordi planleggeren kan bruke den modellen som foreligger og berike den



med de hensiktsmessige detaljer. utfordringer i tidligfase av et prosjekt kan reduseres ved enkel modellering i en 4Dmikromodell, men denne får ikke gjort noe med de prosjekterte planer i forhold til produksjonsvennlighet.

Det er i metode 1 uttrykt at bruken av bygningsinformasjonsmodell er begrenset fordi den ikke inngår i den tradisjonelle planleggingsprosess. Dette generer flere utfordringer til planleggingsmetodene. Bygningsinformasjonsmodeller kan være en vesentlig kilde til informasjon i en planleggingsprosess. Spørsmålet blir derfor hvordan den relevante informasjonen skal kunne gjøres tilgjengelig for planleggeren. Dette kan løses ved at entreprenøren lager BIM manualer, IDM(Information Delivery Manual) eller presiserer dette i en prosedyre. Disse skal ivareta de definerte behov planleggeren har til modellen og sørge for at den blir tilgjengelig. I AF Bygg Oslo kan dette bli en beskrivelse for hvordan bygningsinformasjonsmodellen skal sendes fra modellering til kalkulasjonsavdeling og videre til planleggingsteamet. Bygningsinformasjonsmodellens informasjonsberikelse og reise mellom planleggingsfasenes aktører bør være definert i systemer på en slik måte at den kan bli brukt i planleggingssammenheng.

På grunnlag av den modelleringsprosess og en vurdering av de verktøyer som ble beskrevet i intervjuene er den antatt største utfordringen til å ta metodene 2 og 3 nødvendig kunnskap og kompetanse hos planleggeren. For å ta i bruk bygningsinformasjonsmodeller og 4Dmikromodeller i fremdriftsplanlegging for betongproduksjon må planleggeren få tilstrekkelig ny kompetanse og kunnskap. Dette gjelder spesielt ferdigheter i bruk av programvare. I forhold til metode 3 bygger denne på helt ny planleggingsteori etter Lean Construction, og for en mulig implementering av denne metoden må det bygges opp en forståelse og enighet om teoriens verdi. Samtidig er det viktig med praktiske ferdigheter og forståelse av Last Planner™ systemet. En helt essensiell aspekt i en implementering er forståelse og enighet blant de utførende. Dette definerer at en økning i kunnskap om de berørte teorier, samt en bred satsning på kompetanse i forhold til programvare og metoder, er viktig for at disse metodene skal kunne tas i bruk.

## 4. Konklusjon

I denne masteroppgaven har målet vært å vurdere bruk av 4Dmikromodell og Lean Construction prinsipper for å forbedre den nåværende praktiske fremdriftsplanleggingen for betong. Utviklingspotensialet som er drøftet er hentet fra 4D CAD simulering og Last Planner™ planleggingsprosess da disse ble antatt å være hensiktsmessige utviklinger av eksisterende planleggingspraksis. Den nåværende fremdriftsplanlegging for betong er kartlagt i detalj som utgangspunkt og sammenligningsgrunnlag.

Den nåværende fremdriftsplanleggingen av betong hos AF Bygg Oslo viste seg å være godt grunnfestet i erfaringer og var på mange måter rasjonelt oppbygd. Ved bruk av intervjuobjekter hos AF Bygg Oslo ble forbedringspotensialet til planleggingsprosessen kartlagt. Flere konkrete prioriteringselementer ble påpekt, blant annet pålitelige og tydelige planer som kunne kommunisere helheten av produksjonen mellom aktørene. Planene måtte bygges på erfaringer, gi muligheter for hensiktsmessig detaljering som plassbehov, håndtere uforutsette hendelser og fokusere på forbedring. Prosessen i helhet burde skape dynamikk på byggeplassen og legge tilrette for god kontroll og oppfølging. Funnene viste klare behov til fremdriftsplanlegging av betong, og disse ble lagt til grunn for en hensiktsmessig forbedring.

### *Forbedring ved 4Dmikromodell*

Den første foreslåtte forbedringen var av praktisk art, og innebar en utvidet planlegging basert på simulering i en 4Dmikromodell. De første resultatene av dette var forbedrede kommunikasjonsmuligheter, et underlag som kunne brukes til vurdering og at planens uttrykk gav mulighet til helhetlig forståelse av produksjonen. 4Dmikromodellen gav et visuelt uttrykk i tre dimensjoner av prosjektet og den planlagte produksjonen. Dette rommelige uttrykket kan blant annet vise de plassrelaterte behov som aktørene på byggeplassen har. Det er derfor stor sannsynlighet for at AF Bygg Oslo sin nåværende fremdriftsplanlegging for betong kan bli forbedret ved bruk av en 4Dmikromodell. Grunnen til dette er at den skaper bedre forståelse og kommunikasjonsmuligheter omkring planen.

Modelleringsprosessen av 4Dmikromodellen var gjennomførbar og enkel å endre. Gjennom den foreslåtte modelleringsprosessen av 4Dmikromodellen, presentert i planleggingsmetode 2, ble det vist at det er mulig å bruke denne som tegningsunderlag i planleggingen. Det er viktig at denne prosessen er enkel slik at planleggeren selv kan utføre den, og bruke den aktivt til vurdering og som beslutningsunderlag i planleggingen. Den enkle oppbygningen gjør det også enkelt å endre planene underveis. Likevel er den praktiske bruken av programmene antatt å være den største utfordringen for implementering av 4Dmikromodell hos entreprenør. En heving av kunnskap og kompetanse er derfor en forutsetning for at denne metoden skal kunne brukes i praksis av produksjonsledere.

En fordel ved bruk av 4Dmikromodell som tegningsunderlag er muligheten til automatiske kontroller av planen. Dette ble vist ved bruk av programmets muligheter for kollisjonstesting. På dette punkt er oppgaven begrenset til en forenklet test hvor planens elementer blir kollisjonstestet i tid og sted. En forbedring av denne vil antagelig kunne vise endringers konsekvens, noe som ville vært av stor betydning for planleggeren. Automatiske kontroller,

utført på bakgrunn av 4Dmikromodellen, av fremdriftsplanen for betong vil med stor sannsynlighet være en forbedring av nåværende metode.

Riggplanen kan forbedres ved at den blir modellert i tre dimensjoner og at den enkelt kan vurderes og eventuelt endres ved behov. Riggplanen legger til rette for den praktiske driften og må inneholde en rekke elementer. I oppgaven er det vist noen av mulighetene som eksisterer ved definering av riggplanen i en 4Dmikromodell. Dette ble blant annet gjort ved rik detaljering av planen og visuell vurdering av toppkran. Samtidig oppnår denne planen samme mulighet til kommunikasjon og forståelse som ved simulering av produksjonen. Riggplanen under betongproduksjonsfasen kan med stor sannsynlighet uttrykkes på en forbedret måte ved hjelp av 4Dmikromodell og den modelleringsprosessen som foreslås i oppgaven.

#### *Forbedring ved Last Planner™ systemet*

Planlegging etter Last Planner™ systemet vil imøtekomme planleggeres behov for planer som er fleksible, pålitelige og som kan kartlegge potensielle optimaliseringer i produksjonen. Ved at produksjonslederens fokus endres, blant annet ved endret perspektiv på planen, blir kompleksiteten i betongproduksjonen forenklet. Aktualiseringen av aktivitetenes forutsetninger og det integrerte fokuset på optimalisering gjennom måling og årsaksvurdering, vil gi bedre arbeidsflyt. I oppgaven er resultatene fra denne metoden kun basert på teori. Resultatene gir likevel teoretisk grunnlag for å si at fremdriftsplanlegging av betong etter Last Planner™ systemet kan skape forbedret dynamikk på byggeplassen ved bruk av fleksible planer, samt at den kan ivareta en god kontroll og oppfølging av produksjonen slik at planene blir pålitelige.

Det ble vist i metode 3 at 4Dmikromodell kan være et hensiktsmessig utgangspunkt for planlegging etter Last Planner™ systemet. Dette blant annet på grunn av underlagets mulighet til å vise de plassrelaterte forutsetningene for arbeidsflyt i produksjonen. Det visuelle uttrykket forenkler også kommunikasjonen omkring planene og dette kan skape økt forståelse og enighet i prosessen. Basert på dette kan 4Dmikromodell være et hensiktsmessig utgangspunkt i en fremdriftsplanlegging av betong etter Last Planner™ systemet.

Opgaven har vist at den nåværende fremdriftsplanlegging av betong hos AF Bygg Oslo kan med stor sannsynlighet forbedres ved bruk av en kombinasjon av 4Dmikromodell og Last Planner™ systemet. Dette forutsetter imidlertid en kompetanse- og kunnskaps heving av planleggerne og en utvikling av systemene.

## **5. Videre arbeid**

I det videre arbeidet med de nevnte metoder blir det foreslått spesielt å forbedre og forenkle modelleringsprosess ytterligere. En direkte link mellom modelleringsprogrammet Sketchup og simuleringsprogrammet Autodesk Naviswork manage 2011 vil kunne gjøre arbeidet mer effektivt og enklere for planleggeren. Modellen bør også forbedres slik at potensialet i kollisjonstesten kan benyttes ytterligere.

Det finnes ikke systemer hos entreprenøren som kan ivaretar den nødvendige informasjonsflyten for at en effektiv bruk av bygningsinformasjonsmodell og 4Dmikromodell kan bli gjennomført. Det blir derfor foreslått at et videre arbeid må definere BIMmanualer eller IDM(Information Delivery Metod), slik at det blir definert hvilke informasjon som skal til hvem og når i prosessen dette skal skje. Dette vil kunne ivaretatt prosessen og planleggeren kan da få full utnyttelse av metoden.

Et videre teoretisk studie av Last Planner™ systemet med tanke på fremdriftsplanlegging generelt hos entreprenøren bør bli utført. Dette vil kunne danne et bredere underlag for et praktisk pilotprosjekt der de essensielle elementene blir tatt med.

## Litteratur liste

- Autodesk. (2010). *Autodesk Navisworks Manage 2011 User Guide [online]*. Tilgjengelig fra: [http://images.autodesk.com/adsk/files/navisworks\\_manage\\_2011\\_user\\_guide.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/navisworks_manage_2011_user_guide.pdf) (lest 09.05).
- Baggetorp, M. (2011). *Personlig meddelelse: AF gruppen*. Oslo (30.03.2011).
- Ballard, H. G. (2000). *THE LAST PLANNER SYSTEM OF PRODUCTION CONTROL*: The University of Birmingham, School of Civil Engineering, the Faculty of Engineering.
- Bertelsen, S. (2003). *Louise: en beretning om trimmet byggeri*. [S.l.]: NIRAS. 165 s. s.
- Betongteknologi. *Viderekomende Betongteknologi, fag ved UMB 2010*. Ås: UMB. Upublisert manuskript.
- Eastman, C. M. (2008). *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, N.J.: Wiley. XIV, 490 s., pl. s.
- Fischer, M. & Kunz, J. (2004). The Scope and Role of Information Technology in Construction. *CIFE Technical Report #156 STANFORD University*.
- International Group for Lean Construction [online]*. Tilgjengelig fra: <http://iglc.net> (lest 08.03).
- Jongeling, R. (2006). *A process model for work-flow management in construction, (med tilhørende Papers)* Luleå: Luleå university of technology, Department of Civil and Environmental Engineering.
- Kalsaas, B. T. & Bølviken, T. (2010). *THE FLOW OF WORK IN CONSTRUCTION: A CONCEPTUAL DISCUSSION*. IGLC 18(International Group for Lean Construvtion) Haifa: IGLC.
- Kenley, R. & Seppänen, O. (2010). *Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control*. New York: Spon Press.
- Kolltveit, B. J., Reve, T. & Lereim, J. (2009). *Prosjekt: strategi, organisering, ledelse og gjennomføring*. Oslo: Universitetsforl. 417 s. s.
- Kymmell, W. (2008). *Building information modeling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations*. New York: McGraw-Hill. xiv, 270 s. s.
- Lean Construction Institute [online]*. Tilgjengelig fra: <http://www.leanconstruction.org/> (lest 08.03).
- Lean construction NO, nettverk for prosjektbasert produksjon [online]*. Tilgjengelig fra: <http://develop.fafo.no/lean/lean> (lest 08.03).
- McKinney, K., Kim, J., Fischer, M. & Howard, C. (1996). *Interactive 4D-CAD*. Computing in Civil Engineering, s. 383-389.

Olofsson, R. J. T. (2006). A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. *Elsevier*.

Om AF Bygg Oslo [online]. (2011). Tilgjengelig fra:

<http://www.afgruppen.no/no/Byggtjenester/Selskaper/AF-Bygg-Oslo/> (lest 03.05).

Samsø, K. (2008). *Prosjekt i tidligfasen: valg av konsept*. Trondheim: Tapir akademisk forlag. 344 s. s.

Scheele, R. (2011). *Personlig meddelelse : AF Gruppen*. Oslo (10.03.2011).

Shingō, S. (1988). *Non-stock production: the Shingo system for continuous improvement*. Cambridge, Mass.: Productivity Press. xxv, 454 s. s.

Sigurðsson, H. (2010). 3D planning *Det Digitale Byggeri*. Tilgjengelig fra:

[http://www.detdigitalebyggeri.dk/sites/default/files/attachments/3D\\_Planning\\_informal.pdf](http://www.detdigitalebyggeri.dk/sites/default/files/attachments/3D_Planning_informal.pdf)  
(lest 3.mars 2011).

## Vedlegg:

### Vedlegg 1:Spørreskjema vedrørende fremdriftsplanlegging hos AF-gruppen 2011

Navn:

Ansvarsområde/stilling:

Telefonnr:

Mail adresse:

Tusen takk for at du tar deg tid til å hjelpe meg med erfarings innsamling i anledning min Masteroppgave. Tematikken er generell framdriftsplanlegging og prosesser med å lage denne, og spesielt inn mot betongdrift/flyttplaner. Du er spesielt interessant i den sammenheng siden du sitter på førstehånds erfaring i planlegging, og jeg håper du vil dele denne.

Jeg heter Halvard Wethelund og er student ved UMB. Dette semesteret skriver jeg masteroppgave for AF gruppen spesielt slik at din deltagelse vil kunne belyse dine utfordringer i konsernet, men materialet vil bli brukt i en offentlig masteroppgave. Dette gjør det viktig at du som informant blir anonymisert, når jeg likevel ber om kontakt informasjon er dette kun for at jeg kan få kontaktet deg for evt. oppklaringer til besvarelsen. Videre vil jeg be om at dere er åpenhjertige og besvarer så mye som mulig da jeg trenger alle synspunkter og erfaringer. På forhånd takk.

Del 1. Tema: Nåværende planleggingsprosess:

1. Hvordan kan fremdriftsplanen av betongproduksjonen unngå/motstrebe forsinkelser på grunn av:
  - a) Været og klima?
  - b) Heftelser fra andre fag? (eksempel: manglede tegningsunderlag, manglende materialleveringer osv)
  - c) Manglende bemanning?
  - d) Manglende materiell?
  - e) Manglende kvalitet på ferdig støpen, evt støpefeil?
  - f) Plassrelaterte problemer?
  - g) Endringer?
2. Er det andre faktorer du legger til grunn for planleggingen?
3. Hvordan finner du alle disse nødvendige faktorene?
4. Hvor nøyaktig anser du at AF-gruppens erfaringstall og mengdeuttak er?
5. Når man setter opp flyttplanens rekkefølge/"strengen", hva legger man til grunn?
6. Bruker du andre tekniske hjelpemidler enn MS-project, excel, linjal, erfaringstall, når du skal lage en betongframdriftsplan?
7. Hvordan koordinerer og kommuniserer du dine planer med andre?
8. Hvilke prosesser/aktiviteter kan bli "flaskehals" i fremdriften generelt?
9. Hvilke prosesser/aktiviteter kan bli "flaskehals" i betongproduksjonen?
10. Hva gjøres for å unngå disse "flaskehalsene"?
11. Hvis det oppstår en forsinkelse; hvordan blir dette oppdaget?
12. Hvis det oppstår en forsinkelse; hvilke tiltak blir satt inn?
13. Er det ofte plassrelaterte problemer under betongarbeider?
14. Er det spesielle forhold som kan gjøre det trangt og kronglete å arbeide med støpen?

Del 2: Erfaringer fra prosjekt du har deltatt i.

Prosjekt

Navn på prosjektplass:

Type bygg:

- 1) Hvilke aspekter ble planlagt i forhold til betongproduksjonen? (støpeetapper, herdetid, arbeidslag, krandrift, o.l)
- 2) Var det spesielle utfordringer ved dette prosjektet i forhold til andre prosjekter du har deltatt i?
- 3) Hvordan planla dere disse utfordringene?
- 4) Gikk betongfremdriften som planlagt?
- 5) Hvis ikke, hva skjedde og hvordan taklet dere det?
- 6) Var det aspekter som ikke ble planlagt, men som godt kunne vært belyst i en planlegging?
- 7) Hvordan ble logistikken på byggeplass håndtert?
- 8) Var det plasskonflikter?

Del 3: Fremtid

1. Er det hensiktsmessig å forbedre dagens planleggingsmetode? Evt. hvorfor?
2. Hvilke områder/faktorer i en byggeprosess (generelt) er det viktig å få planlagt sett i ett kost/nytte perspektiv? (utover det som gjøres i dag)
3. Hvilke områder/faktorer i en betongfremdriftsplan (spesielt) det er viktig å få planlagt sett i ett kost/nytte perspektiv? (utover det som gjøres i dag)
4. Tror du en visualisering av byggeprosessen kan hjelpe deg i ditt planleggingsarbeid? evt hvorfor?
5. Hva er en optimal fremdriftsplan?

Annet(utfyllende kommentarer):

Tusen takk

Mvh Halvard Wethelund



## Vedlegg 2: Intervjuer: Praktisk betongplanlegging.

### Kartlegging av taus erfaring innen betongplanlegging

Jeg har foretatt en del erfaringsinnsamlinger i form av intervju og spørsmål pr mail. Det falt seg naturlig å dele dette inn i en del med generelle betraktninger og en mer spesifikk. Grunnen til dette var at intervjuet med produksjonslederen for betong ved Grefsenkolleveien 16 gav svar som ble i stor grad belyste den prosess som var foregått ved nettopp dette prosjektet. Resultatet av alle intervjuene ble grunnlag for behovsdefinisjonen.

Intervju med produksjonsledere for betong i AF Bygg Oslo.

Produksjonslederen 1. 25 års erfaring

Produksjonslederen 2. 9 års erfaring

Produksjonslederen 3

Produksjonslederen 4

Enkelte spørsmål i spørsmålsrunden ble ikke berørt fordi de ikke ble ansett som mulige å planlegge, men var mer korrigerende aspekter under bygging.

### Grunnleggende utfordringer.

Når vi ser på planlegging og drift av en byggeplass er det viktig å ha i tankene at hver byggeplass er unik. Dette betyr at hver plass "lever sitt eget liv og dynamikken på plassene er helt spesiell". Det tas utgangspunkt i erfaring, men det er dynamikken mellom de forskjellige bidragsyttere på plassen som gjør "at ting glir" (Produksjonsleder 4).

*"Kalkylen ligger til grunn for syklusplanen, men dette er gjerne basert kun på mengder og erfaringstall og overser praktiske forhold og andre forhold som ikke kommer fram på forespørselstadiet"* (Produksjonsleder 2).

Rammevilkårene for oppføring av et bygg blir i stor grad planlagt på grunnlag av kalkulerte kvadratmeter og mengder. Grunnlaget for planleggingsprosessen blir lagt i kalkylen, der bygget innledningsvis blir mengdet og det blir laget en priskalkyle. Dette, lagt sammen med gode erfaringstall, gir gode priskalkyler, men ikke nødvendigvis gode utgangspunkt for planlegging av produksjonen. Detaljer og flere byggerelaterte hensyn er viktige parametre for den første framdriftsplanleggingen, men flere av disse aspektene blir ofte uteglemt i kalkylen. De blir da først oppdaget i kapittelgjennomgang, men allerede da kan handlingsrommet være redusert ved at tid og penger ikke er medkalkulert. Resultatet kan være suboptimale løsninger i fremdriftsplanen (Produksjonsleder 1 og 2).

Erfaring om byggedetaljer og forståelse av utførelse ligger på planleggingsingeniørens skuldre. Igjennom tiden har kommunikasjonen mellom ingeniører og arbeidere med praktisk erfaring vært svært varierende. Dette har skapt problemer med å oppdage byggmessige utfordringer og krevende detaljer som absolutt må bli adressert i en framdriftsplan. Resultatet av dette er at det oppstår store problemer med å overholde planer som er lagt. Forståelsen av hvordan produksjon skal utføres er helt essensielt for å oppnå en konsistent plan (Produksjonsleder 1).

Detaljene øker i omfang på grunn av økende kompleksitet i moderne bygg. For bare 25 år siden ble det bygget leilighetskomplekser som var helt rasjonelle og svært enkle å bygge. Det ble sagt at "hadde man bygget en, gikk de neste ti av seg selv". Moderne byggindustri møter en helt annen virkelighet. Det blir stadig høyere krav og individuelle utforminger av byggene som skal produseres. Eksempelvis har ikke et moderne leilighetskompleks like leiligheter, men flere forskjellige størrelser og utforminger. Denne kompleksiteten gjør blant annet at behovet for detaljert planlegging og en økende grad av oppfølging av byggeprosessen er viktig for at praktiske og økonomiske mål skal bli nådd (Produksjonsleder 1)

Betongproduksjonens starttidspunkt er svært avhengig av tidligere aktiviteter i byggeprosa. Geotekniske undersøkelser blir gjort i svært mange byggeprosesser, men selv om grunnforholdene er kartlagt vil det ofte komme uforutsette hindringer under grave og sprengningsarbeidet. Utbedring av leirloomer og sprenging av fjell kan ta lengre tid en planlagt slik at betongproduksjonen blir utsatt. Da kan en måtte "kjøre inn" på betongproduksjonen for å nå avleveringstidspunktet. Denne type forsinkelse er typisk "*..måtte sjakte ut blåleira, feil i geoteknikken kan gi store ekstraomkostninger og gi enorme tidsforsinkelser*" (Produksjonsleder 2).

Erfaringstall og plantegninger har to forskjellige funksjoner inn mot en planlegging. Erfaringstall er som nevnt utgangspunktet for kalkylen og setter byggeprosessen i et økonomisk perspektiv. Dette betyr at dette kalkulerer pris og behov i forhold til for eksempel timeverk, utstyr- og leiekostnader. På den andre siden gir plantegningen et grafisk inntrykk av byggeplassen. Dette gjør det mulig å forstå prosessen og gjennomføre den på bakgrunn av erfaring. Begge disse to kildene til informasjon er viktig og spiller inn på informasjonen som planleggeren kan bruke i sitt arbeide (Produksjonsleder 4).

### *Betong planlegging*

Praktiske hjelpemidler og programmer blir i utstrakt grad benyttet i betongplanlegging. Når betongplanleggingen begynner tas det i bruk flere forskjellige hjelpemidler. Utgangspunkt kan være plantegninger og hovedfremdriftsplan, men det er også tatt i bruk dataprogrammer som Auto-cad (tegneprogram), MAP (kalkuleringsprogram) og MS-project (aktivitetsbasert fremdriftsprogram). Microsoft Excel, linjal, erfaringstall og en god slump erfaring er også viktig å ha med i et slikt arbeid (produksjonsledere).

### *Strengen*

Strengen er den overordnede rekkefølge av støpetapper eller en tenkt rasjonell syklus i betongproduksjonen innefor en plass, for eksempel en etasje. Planleggingen av denne strengen følger praktisk erfaring og planleggeren har et "bilde" av hvordan dette vil foregå på byggeplass. En tommelfinger kan være maks 20 m vegg som en dagsproduksjon av et arbeidslag. Dette er ca tre betong biler, men dette kommer selvfølgelig an på volumet av veggene. Denne begrensningen kommer av fare for svinnsprekker, men i blokksammenheng er slike lange vegger sjeldne. Dette målet gjør det mulig å dele etasjenes vegger inn i strengen (Produksjonsleder 1).

Strengen blir også påvirket av valg av forskalingsystem. Forskalingsystem er ferdig lagde midlertidige konstruksjoner til praktisk gjennomføring av støpeprosess. Består i grove trekk av

”oppsetten” og ”lukken”. Valg av denne blir gjort på grunnlag av hensiktsmessig antall systemer og økonomi.

Tre prinsipper som kan være avgjørende for strengens oppbygning:

1. Vegger med flere tilstøtende støpekonstruksjoner tas først, samt sjakteområder og heisesjakter fordi dette tar tid.
2. Starter lengst vekk fra tårnkranen, for å forenkle løft.
3. Armeringshensyn. Er det spesielle armeringshensyn som avklares med RIB. Dette kan være armeringsskjøter.

Når strengen er klargjort gir dette etasjedriften som i tillegg til strengen tar med dekkestøpen og understøttelsen av denne (Produksjonsleder 1).

Arbeidet med strengen kan gjøres ved bruk av plantegninger og tusjer. Det finnes også et dataprogram som forenkler denne prosessen og lager ryddighet i fargekodingen. Rett på tegning er uansett det enkleste, men dette dataprogrammets plantegninger/støpetapper gjør det mer oversiktlig og kommuniserende. Vi ser at strengen blir laget ved at veggene på plantegningene blir markert med forskalingssystemets farge og støpetappe dato (Produksjonsleder 1).

Praktisk betongplanlegging skjer etter erfaring, men en har forskjellige variabler som må vurderes. Slike blir avklart på BAS møter som tar for seg en ukes og 8 ukersplaner. Her kommer det for eksempel fram leveranser av betong eller annet som da blir koordinert på beste måte. Det kan nevnes at når det er planlagt betongstøping på ca 100 m<sup>3</sup> må det bestilles en uke i forkant, mens mindre kvanta som 20 m<sup>3</sup> kan bestilles på 24 timer. Dette har selvfølgelig direkte innvirkning på hva som koordineres og at dette må gjøres en uke før selve produksjonen, men mengder og tider kan variere etter hvilke avtaler som er gjort med betongprodusenten (Produksjonsleder 1).

På vei til byggeplassen kan betongbilene møte utfordringer. Skal det støpes på tider av dagen da det er mye trafikk i området (rushtrafikk), må dette tas høyde for. Andre trafikale problemer må også vurderes som enveiskjørte gater og fotgjengere (Produksjonsleder 1).

Når betongbilen har kommet til byggeplass skal den tømmes og i praksis blir dette gjort enten ved bruk av betongpumpebil (vanlig på støp av dekker og ved liten ledig kapasitet på kran), evt. ved bruk av tårnkran og tobb (betong kar som løftes). Det tar ca 20-25 minutter å tømme en betongbil ved bruk av tobb og tårnkran, mens betongpumpe bil kan tømme på 10-15 min. Det finnes i dag forskjellige typer og størrelser av betongpumpebiler slik at dette vil selvfølgelig variere. Dette tidsforbruket ved lossing av betong er viktig i forhold til bemanningsspørsmålet og optimalisering av denne (Produksjonsleder 1).

All betong trenger herdetid, dette skaper en naturlig syklus ved rasjonell drift av betongproduksjon ved vanlige boligbygg/blokker. Der starter arbeidet om morgenen ved at forskalingen rives av gårsdagens produksjon for så å sette forskalingen for neste støpetappe. Selve betongleveransen og støpingen starter omkring klokka 13-14. Denne støpen får så natten til herdetid og dette skaper en rasjonell bruk av forskaling og bemanning (Produksjonsleder1).

*Eksempel fra prosjekt der det er beregnet en syklus pr. etasje på 9 dager på nybygget. Dette er regnet ut fra kalkylen og med erfaring og plantegning kan planleggeren si at dette er et raust estimat og et*

godt utgangspunkt. Siden det er i overkant generer dette mer penger og er i utgangspunktet enklere for en planlegger å jobbe med. Planleggeren mener det er 1-2 virkedager i buffer. Dette bygger på en fordeling av dager på antall vegger, heisjakter, tekniskbyggrom, skivevegger/gavlvegger og vegg mot komfortsoner. Planleggeren er i utgangspunktet fornøyd med en romslig plan, slik at han har en buffer både tidmessig og økonomisk (Produksjonsleder 2).

Ved støping er det ønskelig at det ikke jobbes i områdene under der støpen foregår. AF har en rettledning som sier at det skal være minst to etasjer mellom støpeprosessen og annen produksjon. For HMS og sikkerheten er det enklere å gjøre støpingen helt ferdig før områdene under tas i bruk. Ved betongproduksjon kan verktøy og andre gjenstander falle ned på etasjene under. Dette gjør det av sikkerhetsmessige grunner ønskelig å fullføre mest mulig av betongproduksjonen innen andre fag slipper til på plass (Produksjonsleder 1).

### *Bemanning*

Et viktig punkt i planleggingen er å ha rett bemanning. Riktig bemanning er svært vanskelig og en må ha klart for seg den arbeidstokken som er ønskelig. Kjenner planleggeren erfaringsnivået og arbeidsvanene, som for eksempel på egen arbeidsstokk, gjør dette beslutninger enklere. Er det ukjente firma må det tas høyde for innkjøring og større tidsmessige bufre. Et nøkkelord for å oppnå god bemanning er fleksibilitet i mannskapet, slik at de kan "jobbe litt overalt". Dette er midlertidig ikke lett å oppnå (Produksjonsleder 2).

Som tommelfinger går det to mann per forskalings system, og helst bemanning i underkant slik at det ikke blir for mye stopp. En annen teori er at det går sju mann per krankrok, men dette kommer selvfølgelig an på arbeidsaktivitetene (Produksjonsleder 2).

"Mengding med T.V (tilvirkning) gir bemannings behov" (Produksjonsleder 3).

Bemanning blir gjerne underbygd med økonomistyringen som gjøres i MAP i AF. Prosjektets økonomi gir et timeverk per operasjon og da kan det genereres antall personer ut fra dette. Det blir selvfølgelig "snudd på hver stein" for å oppnå billigst mulig produksjon. Bemanning er svært sentralt og  $\frac{1}{2}$  eller  $\frac{3}{4}$  mann for mye vil skape suboptimale forhold i produksjonen (Produksjonsleder 2).

### *Riggplass*

Framkomst veier, kraner, førstehjelp utstyr (Produksjonsleder 3)

*Riggplanen må indikere plass til rådighet og tilgangsmuligheter/adkomstmuligheter til byggeplass. Da er det interessant å se byggets endelige ytre mål slik at riggobjekter ikke kolliderer med dette og forhindrer produksjon. Eiendoms grenser er viktig slik at det til enhver tid er klarhet i tilgjengelig plass. Riggplanen må gi en plan for hvordan de praktiske hensyn under produksjon skal kunne ivaretas. (Produksjonsleder 2)*

For å ivareta betongleveransene kan det være gunstig med to mottak for betong. Det er i dag krav til mottaksplassen av betongpumpebilen, blant annet skal bilene stå på stål plate og en planert plass. For tob lossing av betong(bruk av tårnkran) må det være en grop til denne samt tilgang på vann til vask. Disse leveransene er gjerne flere ganger i uka slik at faste plasser vil kunne gjøre det praktiske arbeidet enklere. Valg av tob lossing eller pumpe lossing blir gjort med hensyn på mengden av

betong og tilgjengelig krankapasitet. Pumpe er kjappere og da tidsbesparende ved store støper. Samtidig er krana betalt og bør brukes, samt bruk av arbeidsstokk slik at hastighet blir avpasset. Betongpumpe blir bestilt ca en uke før, og da med hensyn på størrelse. Vegger er vanlig å støpe med tob. (Produksjonsleder 1)

Lagerplass og disponering av plass til nødvendige konteinere og andre i midlertidige konstruksjoner.

1. Plass til forskalingssystemene. Disse systemene er leid inn og er laget slik at endringer av disse ikke skal være nødvendig. Men det må være plass slik at de kan settes fra blokkene ned på lagerplass. Tidligere ble forskalingen enkelte ganger bare flyttet fra støpt plass til nyforskaling. Dette var mulig, som nevnt tidligere, fordi det var enklere bygg i motsetning til dagens mer kompliserte bygg. Samt dagens forenklete forskalingssystemer som er laget for å løftes rett på plass med små justeringsmuligheter.
2. De forskjellige arbeidslagene trenger lagerplass samt plass til eget verktøy. For eksempel trenger jernbinner egen lagerplass til sine materialer.
3. Tømrerkapitlet har egen sagkonteinere og materialplass.
4. Brakkerigg til både arbeidere og kontorer til prosjektledelsen.

Det er vanlig å legge verktøykonteinere nær brakkerigg og slik at det blir minst mulig avstand mellom verktøy og arbeidsplass. I den senere tid er det blitt mer vanlig med mindre verktøykonteinere som kan heises inn på plass. Dette sparer mye tidsforbruk på henting av nødvendig utstyr. (Produksjonsleder 1)

Kranplassering er en viktig avgjørelse i utformingen av riggplanen. Dette valget må ta hensyn til de tyngste løft som er lengst unna kranplasseringen. Vurderinger som kranstørrelse og evet leie inn mobilkran til enkelte løft må planlegges på et tidlig tidspunkt. Det finnes eksempler på at krana blir rigget på skinner slik at den kan flyttes underveis i byggeprosessen. Dette gjorde det mulig å lage en mer fleksibel løsning med en mindre kran. Kranens plassering er en essensiell brikke i utformingen av riggplan i forhold til lagerplass og losseplass. (Produksjonsleder 1)

Ytre omstendigheter bør klargjøres i forhold til utformingen av riggplanen. Trafikk og mennesker i miljøet rundt byggeplassen er viktige brikker i å lage en trygg og effektiv riggplan. Dette kan dreie seg om enveiskjøringer eller veier til sykehus. Eksempel kan være under bygging av jernbanehallen der det måtte holdes interne koordineringsmøter for at sikkerheten skulle ivaretas. Det ble avklart byggeaktivitetstidspunkt, når togene skulle kjøres og sprengningstider. (Produksjonsleder 1)

Når det skal planlegges produksjonen av betong på byggeplass er det viktig å legge en god riggplan for å fremme de praktiske hensyn. Dette gir en effektiv drift og forenkler leveranser samt forhindrer en rotet byggeplass. (Produksjonsleder 1)

### *Risiko*

Det er ikke vanlig å foreta risikovurderinger på fremdriften. Spørsmål som omhandler mulige handlingsforløp og uforutsette hindringer blir ikke behandlet i en risikoanalyse kontekst. De intervjuede kjenner igjen risikoanalyse fra arbeid omkring HMS, eller ikkestyrt-boring i fjell, men dette er ikke i praktisk bruk i utformingen av en fremdriftsplan. Risiko vurderinger blir ikke foretatt i de termer som er vanlig innefor andre fagområder. (produksjonsledere)

## Klima

Legge inn litt slakk grunnet vær.

Planlegge vintertiltak bedre for å oppnå en bedre betongproduksjon

*Klima en stor utfordring for betongproduksjon og det koster penger. Et prosjekt fikk store ekstra vinterrettede ekstrakostnader som fyring og snørydding. (Produksjonsleder 2)*

*Snø og kulde relaterte problemer kan løses ved bruk av telt over byggekonsruksjonen. Bruk av temporære tildekkende konstruksjoner er økende. Et eksempel på dette er byggingen av en jernbanehall i Drammen. Dette skaper utfordringer i forhold til kranløft, men for eksempel ved denne jernbanehallen var det uaktuelt å bruke tårn kran fordi det var mange strømførende ledninger i området. Dette gjorde det mulig å varme opp området og sikre gode arbeidsvilkår for arbeidslagene, samt at det ble spart tid i forhold til snørydding. (Produksjonsleder 1)*

Kulde kan praktisk stoppe betongproduksjon. En produksjonsdag ble stoppet fordi gradestokken kom ned mot  $-16^{\circ}\text{C}$ . Dette ble praktisk løst ved å utsette støpingen til solen kom fram. Andre tiltak kan være å forvarme betongen eller tilstøtende betongkonstruksjoner og masse. Omgivelsene kan tildekkes og varmes opp med brennere. Forskalingen kan isoleres slik at tap av varme til omgivelsene blir mindre. (Produksjonsleder 1)

Snø og is kan bety store ekstra kostnader i ekstraarbeid som rydding snørydding av byggeplass. Et planleggende tiltak kan her være å legge ut snøsegl når metrologene melder store mengder snø. Dette er også ekstraarbeid, men vil kunne forenkle ryddeprosessen betraktelig siden disse seglene kan løftes vekk med tårnkran. (Produksjonsleder 1)

## Tegningsunderlag

Tegningsunderlag er en kilde til usikkerhet og vil kunne få store konsekvenser hvis redigeringer og oppdateringer uteblir. Tegningsunderlaget blir levert av arkitekt og RIB og det er vanlig å få dette levert etter en tidsplan. Problemene oppstår når forsinkelser oppstår og kan da føre til at byggearbeidene stopper opp. I praksis vil enkelte seint tegningsleveringer føre til improvisering eller at det blir utført andre oppgaver slik at prosessen ikke stopper opp, men skjer dette flere ganger og manglende tegningsgrunnlag fører til store utfordringer og byggestans vil økonomiske tap bli adressert til ansvarlig. Et godt tegningsunderlag er svært viktig for en god planlegging for at alle aktørene skal vite hva som skal bygges, og det optimale er at tegninger blir levert før produksjonsstart eller etter en tidsplan. (Produksjonsleder 2)

For at tegningsunderlaget skal være så riktig som mulig kan det være smart å ha en tett oppfølging av rådgivende ingeniør(RIB). Dette kan forbedres ved å videreformidle produksjonsplanen til RIB slik at korrigeringer og tegninger kommer i tide. (Produksjonsleder 4)

## Utstikking

Betongkapitlet stoler på utsikkingen og oppmålingen gjort av stikningsansvarlig. Utstikking skjer ved oppstart for å sette bygget inn i det riktige geografiske området. Dette er en kilde til usikkerhet, men betong kapitlet stoler blindt på stikkeren. Det kan hende at det blir brukt noe måleinnretninger underveis når det blir sett avvik fra den vante planen, men i utgangspunktet er utstikkingen gjort av

en tredjepart og forsikret. Byggeplass har mulighet til å leie inn en kontrollerende part som sjekker, men dette blir ikke gjort i praksis. (Produksjonsleder 2)

Ved feil i akser eller fra oppmålingen blir det nødvendig å pigge opp betongen og støpe på nytt. Er utstikkingen feil kan dette få konsekvenser for videre produksjon. Det er viktig å ha kontrollerende prosedyrer slik at det blir oppdaget så tidlig som mulig. Når det oppdages slike feil vil arbeidet fortsette produksjonen etter beste evne på et annet sted, og foreta opprettingen mens annen produksjon foregår. Verst tenkelig scenario er at produksjonen stopper opp og kommer ut å kjøre i forhold til hovedfremdriftsplanen. (Produksjonsleder 2)

Egenkontroll (Produksjonsleder 3)

### *Endringsorientert*

" tiltak i tide". (Produksjonsleder 2)

Det vil alltid komme "skjær i sjøen" når det gjelder byggeplass drift. Uforutsette aspekter som fremdriftsplanen ikke har klart å fange er en kjent sak innen for betongplanlegging. Det er derfor viktig å foreta korrigerende tiltak, men dette blir ofte glemt. For å se de kritiske aspektene er det viktig at det hele tiden gjøres oppfølging ute på plassen. Dette gjør det mulig å oppdage problemene og samtidig finne de rette tiltakene i tide. Eksempler på uforutsette aspekter kan være endringer i grunnen(leire), forsinket riving/ graving eller levering, manglende utførelse og sykefravær. Alt henger sammen slik at uforutsette hendelser alltid vil skape utfordringer for produksjonslederne.

Konsekvensen av at det skjer noe uforutsett kan være stopp i produksjonen eller at faggrupper må vike. Dette koster selvfølgelig penger og kompensasjoner for slikt kan bli omfattende samtidig som det skaper dårlig arbeidsmiljø. For at det økonomiske skal bli i varetatt lages det omfattende rammeavtaler og kontrakter med alle involverte. I ytterste konsekvens kan utbetalinger holdes tilbake fra underentreprenører.

Utfordringer med underentreprenører blir tatt opp på ukentlige møter, men sklir ting ut flere ganger må dette få konsekvenser. Først blir det uansett tatt et møte om problemet slik at dialog og forståelse kan oppnås. Det kan være riktig å overstyre en BAS som ikke tar ansvaret. Dette betyr at produksjonsleder går inn å detaljstyrer arbeidet. Dette er ikke en vedvarende mulighet, men et viktig redskap for å korrigere en negativ fremdriftsplan.

Løsningen på en forsinkelse i planen som konsekvens av noe uforutsett kan vær:

- Jobbe ekstra/overtid
- Oppbemanne
- Finne mer effektive løsninger(kanskje dyrere)

Det er viktig at status avstemmes daglig opp mot opprinnelig plan slik at nødvendige korrigeringer blir gjort.

### *Logistikk*

"alt på stell" (Produksjonsleder 2)

Logistikk på byggeplassen er svært viktig og et fokusområde under planlegging. Utfordringen er å lage driften så rasjonell som mulig. Dette innebærer faktorer som lossing av biler og lagerplass slik at leveranser av armering, konstruktivt stål eller betong kommer rett på plass.

I praksis blir logistikken utført av tårnkranen eller mobilkraner. Kranen blir på den måten en nøkkelbrikke og et sårbart punkt i produksjonsprosessen. Flere produksjonsledere har utpekt kranen som den største flaskehalsen på en byggeplass. Flytting og løft kan også utføres av Manitou eller at lastebilens kran utfører jobben. Sistnevnte har i den senere tid fått enorme rekkevidder, men kan ikke løfte vekt i samme størrelsesorden som tårnkranen.

Logistikk blir tatt opp og avklart på møter. BASmøter er arenaen hvor det planlegges kommende logistikk utfordringer. Utgangspunkt kan tas i flyttplanen fordi denne gir leveransedato og mengder av betong, armering, plattendekker og bærestål. Store leveranser som kommer samtidig som kranen er opptatt med store aktiviteter kan være viktig å forutse slik at tiltak som mobilkran kan settes i verk. Venting er en klar konsekvens av manglende logistikk tiltak, men dette kan være billigere enn tiltakene.

Utfordringer ved kranbruk genererer behovet for "kranplaner". Det kan være store diskusjoner om hvem som skal få bruke kranen, men det er enighet blant betongproduksjonslederne at forskalings snekkerne bør ha en fortrinnsrett. Det er viktig at betongdrift og nybygg blir prioritert slik at produksjonen kan gå etter planen. Likevel er det viktig å unngå sperring av kranen og være fleksibel slik at andre fag kan tre sine løftebehov inn imellom. Denne kran koordineringen løses i hovedsak på byggeplass. (Produksjonsleder 1 og 3)

Leveranse utfordringer er også viktig i logistikk sammenheng. Materiell må bestilles i tide og utstyr må være på plass den dagen det skal brukes. Leveranse forsinkelser er vanskelig å forutse, men et tiltak kan være oppfølgingsmøter. Dette gjør det mulig å adressere problemene som oppstår. Mottakskontroll er også viktig i en leveranse sammenheng slik at det oppnås god oversikt. En god oversikt og kontroll over kommende leveranser kan gi en forbedret logistikk på byggeplassen. (Produksjonsleder 4)

### *Kommunikasjon*

På byggeplassen er "samsillet alfa og omega". Det er veldig viktig med en kommunikasjon på tvers av fagene for å oppnå en god produksjon. For eksempel er forskalings laget avhengig av at 4-5 mann, som elektrikere/jernbindere/rørleggere, for at laget skal kunne montere lukken og støpe før klokka 14.00. Derfor er god dialog og kommunikasjon å foretrekke ute på bygge plassen. (Produksjonsleder 3)

Kommunikasjon og grensesnitt mellom forskjellige kapitler blir avklar på arbeidsmøter under planleggingen. Her blir "Hvem er hvor og når" avklart i grove trekk. For å oppnå et godt samspill videre i prosessen er det viktig med møtestrukturer under oppføringen slik at detaljerte behov blir ivaretatt. I alt slikt planleggingsarbeid er det spesielt viktig å være tydelig med de planene som er laget. Et konkret tips er å legge fram helt konkrete planer for hvordan prosessen er tenkt gjennomført. Dette gjør det mulig for andre fag å si seg enig eller uenig slik at det kan gjøres konkrete tiltak for samkjøring. Uansett møtevirksomhet så skjer " det magiske på plassen" og en god dialog er viktig. (Produksjonsleder 2 og 3)



Betong tar mye plass og tid i en byggeprosess. Dette gjør betongen til et av de drivende kapitler i sin fase og flere av de andre faggruppene er satt opp til å følge denne. Dette gjør det mulig å kommunisere igjennom flyttplaner og andre planer på ark, slik at de andre faggruppene kan koordinere sitt virke i forhold til betongdriften. (produksjonsledere)

Bygnings informasjons modell kan være en ekstra hjelp i slik koordinering og kommunikasjons arbeid. Spesielt gjelder dette der språket kan være et problem. BIM gjør det mulig å få fram et visuelt bilde slik at forståelsen av kommende utfordringene blir bedre. I dagens byggevirksomhet er det utstrakt bruk av arbeidere med annen språkbakgrunn en norsk. Dette kan føre til større utfordringer enn tidligere i dette kommunikasjonsarbeidet. BIM vil i denne sammenhengen være et mulig hjelpemiddel. (Produksjonsleder 2)

#### *Plassrelaterte problemer*

Det forekommer ofte plassrelaterte problemer ved betongarbeider. Byggeplasser har ofte et svært begrenset areal og når flere faggrupper gjør krav på arealer kan dette føre til at det blir trangt og vanskelig å drive plassen. Dette får konsekvenser for alle aktører og skaper et behov for en god riggplan. Områder som adkomst, leveranse og lagerplass er tilstedighet utfordrende emner i den praktiske drift. Dette gjør plassrelaterte problemer til en risikofaktor for fremdriften da knapphet på plass ofte er et repeterende problem. (Produksjonsledere)

Orden er viktig på en byggeplass. Plassorganisering og rydding er viktig for å opprettholde en god orden på byggeplassen. Å få plassorganisering inn på riggplanen blir sett på som et mulig forbedringspotensialet i denne sammenheng. Dette kan bety at lagerplasser og drift av disse bør inn i en fremdriftsplanlegging. Orden eller uorden på byggeplass kan bety svært mye for praktisk byggeplassdrift. (Produksjonsledere)

Et konkret eksempel på et prosjekt med store plassrelaterte utfordringer var Karl Meyers gate 4. Dette var et bygg 500m<sup>2</sup> og 8 etasjer. Utfordringene oppsto ved at det nesten ikke fantes riggplass. Gaten og et fortaug var den eneste riggplassen til rådighet for entreprenøren. Alle leveranser og nødvendig materiell ble derfor heiset rett inn. Prosjektet kom i mål ved at det hele tiden ble gjort nødvendige korrigeringer. Det var ved et tidspunkt et uhell med en av veggene fordi forskalingen gikk i stykker. Dette fikk konsekvenser for plattendeck leveransen neste dag. Dette førte til nødvendig ekstraarbeid og mellomagring, men problemet ble løst og fremdriftsplanen ble tatt igjen. (Produksjonsleder 1)

*Risiko generelt, oppsummerende og utfyllende.*

*"Forutsetning for god planlegging er gode prosjekteringsteam som lager billige, gode og rasjonelle løsninger"* (Produksjonsleder2.)

Tidlig fremdriftsplanlegging innen betong går ut på å skaffe folk og jobbe ut mål system som passer prosjektet som prosjekteringsteamet har laget. Denne prosessen kan bli bedre belyst ved at flere berørte parter blir med i planleggingen. Det letes stadig etter nye måter å planlegge på fordi byggene er mer krevende. Kvadratmeter pris, erfaringstall og erfaringer kan være for snevert grunnlag å fundamentere fremdriftsplanen på fordi hvert prosjekt er unikt. Uansett er dette viktig faktorer som tas med inn i en planlegging. (produksjonsledere)

Kontroll og oppfølging er viktig i planleggingen. Blant annet blir faktorer som utstøpningsmengde, materialvalg og overflatekrav vurdert. Dette gir indikasjoner på forutsetninger det er viktig å få med seg og som vil være nødvendig å oppnå i produksjonen. Dette må bli oppfulgt både økonomisk og praktisk igjennom prosessen. (Produksjonsleder 4)

Forbedringer av planleggingsprosessen skjer kontinuerlig ved at det tas lærdom av erfaringer. Dette gjelder alle bidragsyttere i prosessen, men det er vanskelig å påpeke konkrete områder som kan forbedres. Et viktig poeng med denne personlige erfaringsøkningen er at den gjør det mulig å ta de riktige avgjørelsene slik at planen "treffer riktig". Snus det på dette kan det sies at alle forholdene innenfor betong kan oppfattes som like store flaskehalsar og gir grunn for forbedringspotensialet innenfor hver enkelt gren i produksjonen. Det er vanskelig å peke på den største utfordringen da denne forbedringsprosessen har foregått i lang tid og de største utfordringene er løst.

(Produksjonsleder 3 og 4)

Bygnings informasjons modeller er ikke i utstrakt bruk blant betong planleggere. I den grad BIM kommer til nytte er dette ved mengding og grafisk forståelse. Prosedyrer og rutiner gjør at det er mer tradisjonelle kilder hvor det hentes nødvendig informasjon fra. Slik er det i dag, men mulighetene er mange ved en økt bruk av BIM. Den begrensede bruken skyldes også mangel på programtilgang og tid. BIM har på denne måten flere utfordringer i møte med betongplanleggerens hverdag.

(Produksjonsleder 3)

### Vedlegg 3: Intervju med produksjonsleder for betong ved Grefsenkollveien 16 24.03.2011

Produksjonslederen har jobbet i AF gruppen i 30 år. Han har blant annet praktisk fartstid som jernbinner, men har lenge planlagt betongproduksjon. Intervjuet under er konkretisert med eksempler og tanker fra Grefsenkollveien 16 prosjektet.

#### *Grunnleggende for betong planlegging.*

”Rasjonell drift = effektivitet, kvalitet og penger”.

I sitt praktiske virke utarbeider han ukeplaner og oppdeling av disse i dagsplaner. Disse planlegges mest mulig detaljert, men med høyde for det uforutsette. Dette er viktige prinsipper i hans anskuelse av sitt virke.

Komplett tegningsgrunnlag er et av de viktigste utgangspunktene som er ved oppstart av betong planleggingen. Tegningsgrunnlaget blir ofte redigert underveis i prosjektet, men et komplett sett er viktig i starten. Dette gjør det mulig å danne seg et bilde av prosjektet og hvordan det fysisk skal bygges opp.

BIM kan benyttes for å få denne visuelle forståelsen. Han har benyttet en bygnings informasjons modell i denne prosessen, men dette er gjort i mindre grad. Den kan gjøre det enklere å få fokus på vanskelige områder i bygget ved en visualisering i 3D. Dette gjelder spesielt i overganger mellom høydeforskjeller (trapping) eller ved vrirne forskalingsområder som innsnevringer i vegger. Disse detaljene kan være vanskelig å oppdage på vanlige plantegninger. Et konkret eksempel kan være en betongvegg som midtveis i høyden skal trappes fra 300mm til 200mm. Dette betyr at bygningsinformasjonsmodellen kan gi et vesentlig bidrag i form av forståelse av byggeprosessen.

Erfaringstall er ikke nødvendigvis utgangspunktet for planen. Produksjonslederen tar utgangspunkt kun i plantegninger, for så å sette opp en stram og realistisk plan. Dette blir gjort på grunnlag av erfaring. Denne planen blir tilslutt sammenlignet med tall fra hovedfremdriftsplanen, og er det uoverensstemmelser her blir dette grunnlag for en diskusjon med anleggsleder og prosjektleder. Korrigeringer av hovedfremdriftsplan, evt ekstra tiltak for en kjappere produksjon blir så drøftet. Dette gjør det mulig å skape en realistisk plan der det er overensstemmelse mellom erfaringstall og praktisk erfaring fra lignende bygg.

Produksjonslederen mener at en plan skal i utgangspunktet være fullt mulig å gjennomføre, så sant det ikke oppstår store utfordringer og forsinkelser. Det er viktig i denne sammenheng å nevne at han mener det må tas høyde for slike utfordringer, men disse er det vanskelig og uhensiktsmessig å kartlegge i starten. Et svært viktig prinsipp er at det jobbes løsningsorientert i produksjonsfasen. Dette innebærer at utfordringer oppdages og løses disse underveis. BAS og arbeidslaget er en viktig kilde i denne sammenheng fordi de ser og kjenner de praktiske mulighetene og utfordringene.

#### *Betong planlegging.*

Betongproduksjonen spesielt. Treutligninger er en flaskehals og at ikke betongen er ferdig herdet ved riving av forskaling. Stor gjenbruk av forskaling, slik at det er behov for god nummerering, slik at gjenbruk av repeterende forskaling er mulig.

Planleggingens utgangspunkt avhenger i vesentlig grad av betongprosjekterings valg av løsninger. Når rådgivende ingeniører tar valg på de konstruktive forholdene i et bygg, gjør dette utslag på hvordan betongplanleggeren ser det hensiktsmessig å foreta produksjonen. Dette kan for eksempel være valget om betongdekke rett på grunn, eller om betongveggene skal fundamenteres direkte på fundamentene. På Grefsenkollveien 16 ble sistnevnte løsning valgt og fundamentene ble derfor naturlig utgangspunkt for betong planleggingen.

For å lage første strengen ble det valgt fundamentene i akse "A" som start akse. Denne første strengen er veggproduksjonens syklus. Produksjonslederen starter alltid med yttervegger og vet av erfaring at ca16m vegg er en fornuftig støpeetappe. Dette kan utføres ved bruk av to oppsettforskalingen på 16m samt et lokk på tilsvarende lengde. Når syklusen så er i gang kan lokken flyttes om morgenen fra den ferdigstøpte veggen, fra gårdagens produksjon, til den ferdige oppstetten som også ble satt opp dagen i forveien. Videre kan da forskalingen monteres for så å støpes, samtidig som den andre oppsetten flyttes til ny veggplass for preparering. Dette er et utgangspunkt for en optimal produksjon. Et alternativ kan være å ha 2 hele 16m forskalingssystemer, men dette kan føre til at forskalingen må flyttes ned og på den måten øke antall kranløft.

Det finnes forskjellige forskalingssystem typer. På Grefsenkollveien 16 ble det benyttet to typer systemer henholdsvis "Trio system" i kjeller og "Bolig form" i etasjene. Trio er et robust system som kan bygges til ønsket høyde. Plantene er for eksempel 60cm brede og settes sammen som et puslespill på en slik måte at de kan benyttes på flere "like" vegger. Bolig form er et kjappere system, med laver høyde og penere overflate. Dette gjør det enklere å få en penere vegg med mindre behov for sparkling. Begge systemene opererer med store flater slik at det unngås unødvendige "sår" og ujevnheter i veggens ferdige overflate. En stor utfordring ved bruk av slik forskaling er at de ikke passer eksakt til de veggene som skal produseres slik at mye tid går med til å lage treutligninger for å fylle ut der forskalingen stopper.

Veggernes produksjons rekkefølge eller flyttplanens rekkefølge er av stor betydning. Siden 16meter er en etappeproduksjon starter produksjonen som nevnt med en yttervegg. Videre må kontrolleres slik at skjøtekasser blir plassert på riktig plass. Disse skjøtekassene er armeringstilgang for tilstøtende vegger og er utgangspunkt for understøttende tverrvegger. Skal en slik tverrvegg inn på to tilstøtende vegger, eksempelvis 90 grader på to yttervegger, må ytterveggene produseres først. Neste hensyn som må følges opp er hjørner. Disse skaper ekstraarbeid og det må tas stilling til hvilke vegg som skal "kobles" på den andre. Dette skaper en logisk rekkefølge som nødvendigvis ikke er kronologisk etter aksenes stigende bokstav eller tall.

For en optimal produksjon må alle veggene som understøtter et dekke på plass slik at en god dekkestøp syklus kan starte. Dekkestøp er streng nummer 2. Plattendekker som underlag for dekkestøp er en vanlig metode. De kan for eksempel ha en spennvidde på 7.20m før den må understøttes av en vegg, og må samtidig støpes ut ca 1m over "siste" understøttelse av konstruktive grunner. Dette gir dekk lengder pr støp på henholdsvis 15.40m, 22.60m eller 29.80m. Dette passer godt med en yttervegg produksjon på 16m pr etappe. Det er viktig at alle betongkonstruksjoner under dekket er utført før dekke støpes. Dette kan gjelde tidkrevende støpearbeider som trappesjakter og heisjakter.

Før et dekkestøp kan foretas er det en del preparerende arbeid. Først må plattendekker på plass for slik at den understøttende dekkreisen kan monteres. Dette er midlertidige konstruksjoner som

holder plattendekkerne oppe og hindrer svai i konstruksjonen. Dekkereis montasje er arbeidskrevende og logistikk krevende. Den er også plasskrevende fordi den må stå oppe i 28 dager etter støp, men kan etter halvgått tid reduseres i antall slik at noe av dekkereisen kan flyttes til neste plass. Etter at dekkreisen er på plass må armering og andre tilpasninger monteres. Av sikkerhetsmessige grunner må det også monteres et gjerde rundt den aktuelle plassen. Før selve dekkestøpen kan starte må også andre tilstøtende konstruksjoner monteres som for eksempel balkonger.

Optimal betongproduksjonsplanlegging gjør det mulig at vegg produksjon og dekkeproduksjon arbeider på forskjellige plasser. Dette tar form som en "trappeproduksjon" der veggproduksjonen legger til rette slik at dekkeproduksjonen kan gjennomføres. Dette blir som nevnt over kalt strenger, og produksjonslederen presiserer at 2 strenger er maksimalt antall strenger på prosjekter som Grefsenkollveien 16.

Trappesjakter og heissjakter er tidkrevende støpearbeider. Ved Grefsenkollveien 16 ble det laget et forskalingssystem 3 for produksjon av trappe- og heissjakter. Dette ble i utgangspunktet sett på som en mindre oppgave, men viste seg å ta mye tid grunnet mange utfordrende tilpasninger av forskalingen. Ekstra treutsparinger ble laget for å klare disse detaljene, men i ettertid kan det sies at dette burde vært utført som prefabrikasjon. Hadde dette vært gjort ville betongproduksjonen ved dette konkrete prosjektet vært enklere og skapt bedre flyt i prosessen.

Et smart trekk i planleggingen er å starte med forberedende arbeid før selve betongproduksjonen skal starte. Et eksempel på dette er produksjon av hodearmeringen (kurvarmeringen) som skal stå på pælehodene. Dette kan for eksempel gjøres av BAS i samarbeid med et par arbeidere. Slikt preparerende arbeid gjør at oppstartsarbeidet går raskere samtidig som noen i arbeidslaget får en kjennskap til prosjektet slik at de er litt "varme i trøya" ved betongproduksjonsstart.

### *Bemanning*

#### Prinsipper

- Trappes opp.
- Rett mann på rett plass.
- Folk til å stole på.

Produksjonslederen påpeker at bemanning må skje på grunnlag av kjennskap til arbeidsfolkene og spesielt BAS. Dette er viktig for at de skal jobbe optimalt og for at de utførende får en god forståelse av prosjektet. Disse forholdene har vært etterstrebet på Grefsenkollveien 16 ved at bas og betongproduksjonsleder har startet arbeidsdagen med et møte. Her er dagsplanen agenda slik at denne kan gjennomføres og da kan det oppdages forutsetninger for at dette skal la seg gjøre. Det er viktig at bas og betongproduksjonsleder er enige om hvordan produksjonen skal gjennomføres slik at samarbeid oppnås.

Bemanningen forandres underveis i prosjektet. Ved Grefsenkollveien 16 startet 3-4 mann med jernbinding av fundament kurvene (se over) før selve betongproduksjonen startet. Videre ble det ved produksjonsstart satt 4 mann til veggproduksjonen i kjelleren. Det ble videre aktivisert til 8-9 mann når strengene var etablert. Det er viktig å påse at arbeidsfolkene får spesialisert seg på enten vegg

eller dekker slik at produksjonen blir jevn og optimalisert, men et godt samarbeid er viktig. I praksis ble 3 mann satt til veggmontasje og 4-5 mann til dekkepreparering.

I utgangspunktet er et arbeidslag bestående av 8 personer og disse er det viktig å spille på riktig måte. Oppstår det venting eller stopp i en av produksjonene, og andre forhold egentlig ligger til rette for produksjon, vil dette kunne avspeile feil i bemanningen.

Plassbruken av en slik bemanning er interessant i planleggings sammenheng. Dette er selvfølgelig vanskelig å estimere, men med utgangspunkt i etasjedrift ved Grefsenkollveien 16, kan det nevnes at det var omkring 13 arbeidere på bygget samtidig. Derav 9 personer som var jernbindere, forskalingssnekkere og elektrikere som jobbet i nærhet av veggforskaling og dekkestøpen. Videre hadde de 2 personer som monterte det konstruktive stålet, men disse jobber på en annen plass enn de overnevnte. Tilslutt var det 2 grunnarbeidere som blant annet arbeidet med å rense ferdig støpte vegger. De sistnevnte jobber altså i tilknytning til allerede oppførte vegger. Plassbruken til alle disse 13 er avhengig av verktøy og materiale de trenger for å utføre operasjonene, og det skaper stor irritasjon ved overlappende bruk av plass.

### *Riggplanen*

"alt må inn"

Alle plassrelaterte objekter eller behov må inn på en riggplan. For eksempel må plasser der man finner brannslukningsutstyr og førstehjelpsutstyr være merket. Samtidig må det legges opp til en rasjonell drift av alle leveranser fra lastebiler og maskiner som skal inn på området. I dag skal det gjenvinnes 80% av all søppel som blir produsert på byggeplass. Dette må selvfølgelig inn i riggplanen, samtidig som det og alt annet må være smart plassert i forhold til praktisk bruk.

Riggplanen vil endre seg underveis i byggeprosessen. Når betongproduksjonen nærmer seg tar betongproduksjonsleder og anleggsleder for seg riggplanen for betong fasen. Det kan blant annet være hensiktsmessig å flytte på innfartsåre og leveranse plasser i forhold til hva som ble brukt under grave og utvikling av byggegropen. Under betongfasen kan det være fornuftig å kun gjøre mindre endringer, eksempelvis anlegge en fast leveringsplass for betong for å forenkle kommunikasjon med sjåførene. Endringer av riggplanen mellom fasene er fornuftig for da kan denne optimaliseres for den fasen byggproduksjonen er i.

### *Risiko (muligheter og utfordringer i forhold til betong drift)*

Risiko gjennomgang gjøres ikke. Dette betyr at plan B må lages på stedet ut fra en helhetlig vurdering. Denne vurderingen er økonomisk basert så vel som praktisk og fortøner seg som en løsningsorientert brannslukking. Her kommer det tette samarbeidet med BAS og arbeidslag inn for å finne den beste løsningen. Det blir tatt viktige avgjørelser i planleggingen og selv om dette ikke kalles risiko eller risikoanalyser er det blitt gjort mange erfaringer innenfor de forskjellige usikkerhetsmomentene slik at helt uforberedt står produksjonslederen selvfølgelig ikke.

### *Klima*

Vinter støp har selvfølgelig sine utfordringer, men er fullt mulig ved de rette grep. Når temperaturen går under 0 er det hensiktsmessig å benytte seg av vinter betong og ha muligheter til å varme opp.

Det kan også være smart å øke 28 dagers fastheten på betongen (eksempelvis fra B30 til B35) samt å benytte seg av 50% industribetong. Dette må selvfølgelig avpasses med temperaturforholdene, men det kan gi den nødvendige fastheten veggen trenger slik at forskalingen kan rives etter en natt. Betongen er også oppvarmet til ca 25°C for at herdeprosessen skal starte under optimale forhold.

Når det gjelder dekkene kan det være hensiktsmessig å benytte seg av snøsegl. Dette er som nevnt en duk som kan heises vekk. Er det likevel snø og is på plattendeckket må dette vekk, og det kan gjøres ved fyring i etasjen under. Denne fyringen bør starte minst et døgn før støpingen slik at dette kan tørke opp. Det er uheldig med vann på plattendeckket fordi dette fører til vanskeligheter med å lage et jevnt dekke og det er ugunstig med vannlommer evt. opptak av vann i betongen.

Sommerklima har sine utfordringer når det gjelder støping. Dette gjelder i hovedsak dekket på grunn av eksponeringen mot sol. Løsningen er å dekke til med plast, samt vaning av støpen. Det finnes også membraner som funker som tildekning, men det er negative erfaringer med dette da det lett flasser opp og skaper mye ekstraarbeid i etterkant.

#### *Tegningsunderlag og utstikking*

Riktig tegningsunderlag er viktig og legger grunnlaget for utføringen. Utsparinger og andre ting som skal inn i veggen blir kontrollert visuelt etter en A3 tegning før lokken blir plassert. Det er prosedyrer og sjekklister for dette arbeidet, men det er vanskelig siden det er liten tid til å foreta kontrollmålinger. Samtidig er det vanskelig å finne et fast plassert utgangspunkt for å foreta disse kontrollene. Plasseringen av veggene foregår etter "klossingen" som er det punktet stikkeren lager, men dette er også svært vanskelig å kontrollere.

Tømrer kapitlet oppdager de fleste geometriske avvik og disse må i de fleste tilfellene utbedres. Dette betyr ekstra arbeid som betongskjæring evt. oppigning og riving. Når dette skjer vil produksjonslederen kunne gå tilbake til sjekklister å se at byggingen er skjedd etter en tallfestet revisjon av tegningsunderlaget. Dette kan være viktig i en ansvars plassering av feil og få konsekvenser for den gjeldende part.

#### *Logistikk og flaskehals*

Bruk av kran er en betydelig flaskehals og en svært viktig faktor når det gjelder logistikk på byggeplass. Betongarbeider legger i perioder store beslag på kranens virksomhets tid. I perioder med for eksempel balkongmontasje eller støping med tob er kranen 100% opptatt av betongarbeider. Dette fører til at de må ha første prioritet på kranen for å få utført sitt arbeide. Like viktig er det at kranføreren er kjapp, sikker og god til å følge med slik at nødvendige løft kan gjøres effektivt og sikkert. At kranens begrensinger er av avgjørende betydning er et faktum og mulige løsning ved for liten kapasitet er å planlegge flere kraner evt. bruke mobilkran i kritiske perioder. Resultatet av en for liten krankapasitet kan være å jobbe lange dager for å holde planen.

Plasseringen av kranen er av viktig betydning for byggeplassdrift. Kranens plassering må være gjennomtenkt slik at den har den nødvendige løftekapasitet og rekkevidde. Det er også viktig at den er plassert slik at den ikke står i veien for produksjonen på bakkeplan. På Grefsenkollveien 16 ble det planlagt at kranen skulle bygges på fundamenter som siden kunne brukes i bygget. Dette gjorde det viktig å planlegge fundamentene slik at tilstøtende vegger lot seg avslutte på de nødvendige fundamenter. Kranens plassering har en klar praktisk betydning og må være planlagt.

Tilrettelegging for lossing og inntransport er viktige, men vanskelige forhold å planlegge. Praktisk må det være plass nok til å ta imot trailere. Grefsenkollveien 16 var et eksempel på at dette ble et problem da det prosjekterte parkeringshuset tok store deler av byggeplassen. Faste, markerte og romslige avlossingsplasser er å foretrekke der det er mulig.

For å tilrettelegge lossingen ytterligere kan leveringsplaner være en mulighet. En leveringsplan kan inneholde koordinering av den lasten som skal komme. Dette betyr at bestillingen er detaljert slik at leveransen kan foregå så enkelt som mulig. Eksempelvis kan en leveranse av plattendekker være bestilt etter rekkefølgen de skal løftes opp. Denne typen direkte avlossingen gir ingen mellomlagring noe som forenkler helhetsbildet og gjør prosessen mer effektiv. Det kan bli en kjempe utfordring å koordinere plater som ligger usystematisk lastet.

En leveringsplan kan også inneholde leverings tidspunkt for leveranser. Dette betyr at leveransene skjer til avtalt tid. Forsetter eksempelet med plattendekkerne kan en planlagt levering av disse skje klokken 7.00, 12.00 og 15.00 den aktuelle produksjonsdagen. Dette vil generere behov i forhold til kranen, utført arbeid som må være ferdig og det kan gjøres klart til levering. Arbeidet blir på denne måten forutsigbart, likevel er ikke en slik leveringsplan lett å gjennomføre. Innkjøringsperioder kan være svært krevende og detaljering av tidsfrister kan være vanskelig å sette. Resultatet kan være mye vente tid for enten arbeidslaget eller leveringen. Dette fører med seg ekstrakostnader den ene eller andre veien. Spesielt vanskelig er dette med leveranser fra utlandet. Uansett vil en slik leveringsplan være å foretrekke og den kan skape en god pulserende drift av byggeplassen.

Anslagsvis legger betongplanleggeren opp en leveringsplan av betongen. Ved praktisk planlegging av betongleveringer regner produksjonslederen 15 minutter pr betongbil. Da har bilen 10 min til å tømme, samt 5 min til vask og flytting. Dette er selvfølgelig avhengig av mange variabler, men et holdepunkt. Hvis det så ikke er klart til støping når betongleveransen kommer kan det blir beordret venting. Ved store forsinkelser kan en betongbil i ytterste konsekvens måtte kaste lasten. Dette er kritisk etter 4 timer venting, men allerede etter 2 timer kan dette være kritisk for vinterbetong. Denne tiden blir oppnådd ved at det blir tilfører SP stoff i betongen, noe som gjør den mer flytende. Det må legges en betongleveringsplan og konsekvenser ved at denne ikke kan oppfølges på grunn av uforutsett venting kan få store konsekvenser.

### *Kommunikasjon og koordinering*

Tegninger og planer er utgangspunktet for all kommunikasjon og koordinering på en byggeplass i betongdrift. Plantegninger er grunnlag for kommunikasjon og forståelse, videre lager produksjonslederen en etappeplan/flyttplan som er grunnlaget for all fremdriften. Denne planen genererer leveringsplaner og koordinering av andre fag ved at underentreprenører ser sine tidslommer. Et gant diagram blir også laget for å få fra tidsperspektivet og flere detaljer.

I prinsippet er grensesnittet mellom fag satt ved at betongproduksjonen er styrende. Betongvegger og dekker må først opp for at produksjonen skal gå best mulig. Likevel prøves det å være behjelpelig med å få de andre fag i gang og gjøre plass til disse. Dette fører til en nær kommunikasjon mellom produksjonsledere for betongen og for tømmerne. Her blir grensesnitt og produksjonsplasser avklart underveis, og disse er også styrt av prosedyrer som bør følges. Det oppstår ofte uoverensstemmelser mellom de forskjellige faggruppene om når hvem skal inn, slik at dette blir alltid en vurderingssak. Dette kan føre med seg diskusjoner produksjonshastighet og bemanning. Alle vil ha like mye plass slik



at de får brukt sine ressurser på en mest mulig effektiv måte, men dette må bestemmes ut fra betongens produksjon.

### *Plass problemer*

Det finnes flere plassrelaterte problemer. De fleste springer ut av mangel på orden, rydding av plassen blir et nødvendig tiltak. Uorden kan føre til HMS tiltak eller unødvendig bruk av tid på å lete etter materiale eller utstyr arbeidslaget trenger. Et annet konkret tiltak for at det ikke skal oppstå slike problemer er at jernbinderne må være nøye med mengden jern de tar opp på bygget. Hvis de heiser opp mer enn de trenger kommer dette ofte i veien for andre. Plassrelaterte problemer og uorden er alltid forbedringsområder.

### Generelt

Fremdriftsplanlegging må alltid ta høyde for det utforutsette. En dag kan en støpeetappe bli utsatt fordi en vegg går i stykker under rivingen av forskalingen. Er det ingen planlagt buffer må dette jobbes inn, men som regel legges det inn litt slak i planene. Slike løsninger blir alltid tatt i en helhetsvurdering. Er det for eksempel ingen press på planene eller om det finnes noen naturlige buffere kan det være hensiktsmessig å bruke disse. Slikt oppdages av erfaring ut av for eksempel flyttplanen og kan være utsetting av arbeider som ikke har direkte innvirkning eller må gjøres for at syklusen skal gå optimalt. Dette kan være tilstøtende konstruksjoner som garasjelegget på Grefsenkollveien 16. Den naturlige bufferen her ble at denne konstruksjonen ble utsatt og tatt i etterkant av resten av bygget. Produksjonsplanleggerne tar alltid høyde for det uforutsette og leder produksjonen etter et helhetlig bilde.

Når det uforutsette oppstår og det blir en stans i produksjonen kan det alltid bli funnet andre arbeidsoppgaver. Det vil alltid være et behov for rydding eller annet forefallende, men dette er i praksis vanskelig og demotiverende for arbeiderne. Dette er grunnet i at arbeidsprosessen blir oppstykket ved at arbeideren må forlate den aktiviteten han er satt til (verktøyet, operasjonen) for så å gjøre noe annet i mellomtiden. Ofte blir dette "dødtid" og er ødeleggende for dynamikken i produksjonen.

En av grunnene til at stans oppstår kan være manglende nødvendig verktøy, utstyr eller materiale. Hver operasjon på plassen har spesielle praktiske behov. Det lages innkjøps planer for at disse behovene skal være dekket, men mangler kan oppstå. Dette er områder som produksjonsleder må ha i tankene slik at optimal produksjon kan forekomme.

## Vedlegg 4: Detaljering av arbeidsbolker fra forsøk planleggingsmetode2

| Bygg/Sone      | Fra akse       | Til akse | Detaljer               | kommentarer        | antatt etappe |
|----------------|----------------|----------|------------------------|--------------------|---------------|
| etasje 1 og 2  |                |          |                        |                    |               |
| A              | a3             | a6       | ca 16m, støpe          | Forskalingsystem 1 | 1             |
| A              | b2             | b6       | ca 16m, støpe          | Forskalingsystem 1 | 3             |
| A              | c2             | c6       | ca 16m, støpe          | Forskalingsystem 2 | 2             |
| A              | 3a+2b          | 3b+2c    | 7.2*2 ,støpe           | Forskalingsystem 3 | 4             |
| A              | trappesjakt b2 |          | flere kortem støpe     | Forskalingsystem 3 | 5             |
| A              | d1             | d5       | ca 16m, støpe          | Forskalingsystem 2 | 5             |
| A              | e1             | e5       | ca 16m, støpe          | Forskalingsystem1  | 6             |
| A              | trappesjakt e  |          | 5 mindre vegger,<br>st | Forskalingsystem 3 | 7             |
| B              | h1             | h6       | ca 16m, støpe          | Forskalingsystem 2 | 8             |
| B              | trappesjakt g- |          | 3 vegger               | Forskalingsystem 3 | 9             |
| B              | trappesjakt g+ |          | 2vegger                | Forskalingsystem 3 | 10            |
| B              | 4h(+)          | 4j       | 14m,st                 | Forskalingsystem 2 | 9             |
| B              | i4             | i6       | 14m,st                 | Forskalingsystem1  | 10            |
| etasje 3 til 6 |                |          |                        |                    |               |
| A              | b2             | b6       | ca 16m, støpe          | Forskalingsystem 1 | 1             |
| A              | c2             | c6       | ca 16m, støpe          | Forskalingsystem 2 | 1             |
| A              | 2b             | 2c       | 7.2*2 ,støpe           | Forskalingsystem 3 | 2             |
| A              | trappesjakt b2 |          | flere kortem støpe     | Forskalingsystem 3 | 3             |
| A              | d1             | d5       | ca 16m, støpe          | Forskalingsystem 2 | 4             |
| A              | e1             | e5       | ca 16m, støpe          | Forskalingsystem2  | 5             |
| A              | trappesjakt e  |          | 5 mindre vegger,<br>st | Forskalingsystem 3 | 6             |
| B              | h1             | h6       | ca 16m, støpe          | Forskalingsystem 1 | 6             |
| B              | trappesjakt g- |          | 3 vegger               | Forskalingsystem 3 | 9             |
| B              | trappesjakt g+ |          | 2vegger                | Forskalingsystem 3 | 10            |
| B              | 4h(+)          | 4j       | 14m,st                 | Forskalingsystem 2 | 7             |
| B              | i4             | i6       | 14m,st                 | Forskalingsystem1  | 8             |

## Vedlegg 5: Forsøk leveranse og kranprioriteringsplan. Fra forsøk planleggingmetode2

| dato  | tid      | Detaljering                       | lagerplass | Kranprioritering | Merknader         |
|-------|----------|-----------------------------------|------------|------------------|-------------------|
| 5.5.  | 13:00:00 | Betonglevering etappe1            |            | ja               |                   |
| 6.5.  | 13:00:00 | Betonglevering etappe2            |            | ja               |                   |
| 9.5.  | 13:00:00 | Betonglevering etappe3            |            | ja               |                   |
| 10.5. | 13:00:00 | Betonglevering etappe4            |            | ja               |                   |
| 11.5. | 13:00:00 | Betonglevering etappe5            |            | ja               |                   |
| 11.5. | 10:00:00 | Balkong leveranse                 | lagerplass |                  |                   |
| 12.5. | 13:00:00 | Betonglevering etappe6            |            | ja               |                   |
| 13.5. | 13:00:00 | trappesjakt A1 etappe5            |            | ja               |                   |
| 13.5. | 13:00:00 | Betonglevering etappe7            |            | ja               |                   |
| 16.5. | 13:00:00 | Betonglevering etappe8            |            | ja               |                   |
| 17.5. | 09:00:00 | Plattendeckerleveranse A1         |            | ja               |                   |
| 17.5. | 12:00:00 | Plattendeckerleveranse A1         |            | ja               |                   |
| 17.5. | 15:00:00 | Betonglevering etappe9            |            | ja               |                   |
| 18.5. | 09:00    | Plattendeckerleveranse A1         |            | ja               | Stor leveranse    |
| 18.5. | 12:00    | Plattendeckerleveranse A1         |            | ja               | balkong montering |
| 18.5. | 15:00:00 | trappesjakt etappe 8 og etappe 12 |            | ja               | balkong montering |
| 19.5. | 13:00:00 | Betonglevering etappe13           |            | ja               | balkong montering |
| 20.5. | 09:00:00 | Dekkestøp A1                      |            | ja               |                   |
| 20.5. | 13:00    | Betonglevering etappe10+11        |            | ja               |                   |
| 23.5. | 09:00    | Plattendeckerleveranse A2         |            | ja               |                   |
| 23.5. | 12:00    | Plattendeckerleveranse A2         |            | ja               |                   |
| 23.5. | 15:00    | Plattendeckerleveranse A2         |            | ja               |                   |
| 24.5. | 09:00    | Plattendeckerleveranse A2         |            | ja               |                   |
| 24.5. | 12:00:00 | Balkong montering                 |            | ja               |                   |
| 25.5. | 13:00:00 | Betonglevering etappe1 2.etasje   |            | ja               |                   |
| 26.5. | 13:00:00 | Betonglevering etappe2 2.etasje   |            | ja               |                   |
| 27.5. | 13:00:00 | Betonglevering etappe3 2.etasje   |            | ja               |                   |
|       |          |                                   |            |                  |                   |

## **Vedlegg 6: Last planner™ Copyright and trademarks**

We are pleased when owners, clients or their construction companies use Last Planner™ to improve their design and construction performance. We make no charge for this and place no limits on its use within a company. We do encourage companies that find it useful to become contributors to the Lean Construction Institute.

We do retain a Trademark on the term and Copyright in the idea and materials to prevent people who misunderstand or misrepresent the system from using it in trade. Because we want those who design and construct with the help of the Last Planner System™ to have the best possible start, we do require that those who use the term in trade are approved by us. That is, those offering to teach, coach or apply Last Planner™ as part of a commercial offer need our approval. We also expect them to make financial and other contributions to the Institute in recognition of the financial and other benefits they are getting from the work we have put into developing Last Planner™.

<http://www.leanconstruction.org/lastplanner.htm>

Vedlegg7: Planleggingsprosess makronivå (Olofsson 2006)

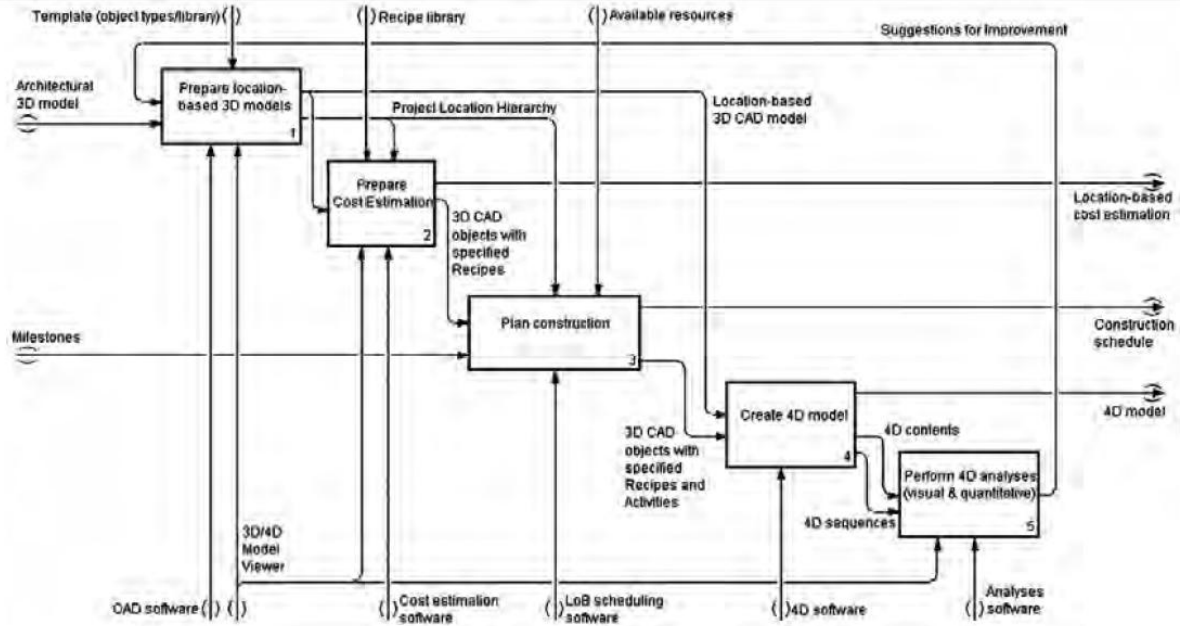


Fig. 6. Proposed process model for combined use of location-based planning and 4D CAD

**Vedlegg 8 Kollisjonstest(resultat 1-10)**

## Clashes

-----  
Report Batch

Test 2 Clash

Tolerance: 1.00m

Total: 19

New: 19

Active: 0

Reviewed: 0

Approved: 0

Resolved: 0

Type: Hard

Status: OK  
-----

Name: Clash1

Distance: -1.98m

Image Location: cd000001.jpg

HardStatus: New

Clash Point: 59.40m, 29.02m, 211.18m

Date Created: 2011/5/209:23:06

Item 1

Item Name: B, i4-i6,st

Item Type: Face Set

Item 2

Item Name: B,4h(+)-4j,st

Item Type: Face Set

Task Link

Start: 2011/5/170:0:0

End: 2011/7/20:0:0

Task Name: oppsett 13, system 2  
-----

Name: Clash2

Distance: -1.64m

Image Location: cd000002.jpg

HardStatus: New

Clash Point: 27.14m, 23.94m, 212.13m

Date Created: 2011/5/209:23:06

Item 1

Item Name: A,e1-e5,st

Item 2

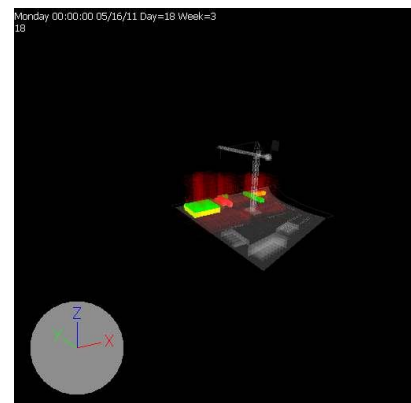
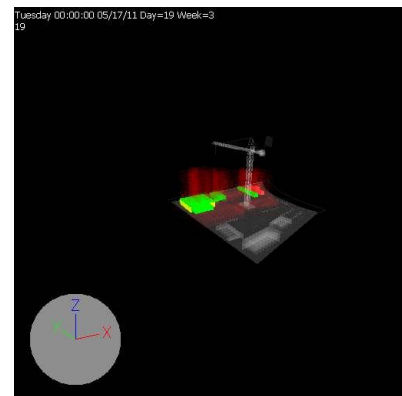
Item Name: A,trappesjakt e

Task Name: oppsett 8, system 3  
-----

Name: Clash3

Distance: -1.63m

Image Location: cd000003.jpg



HardStatus: New  
 Clash Point: 12.55m, 33.83m, 211.23m  
 Date Created: 2011/5/209:23:06

Item 1

Item Name: A,c2-c6,st  
 Item Type: Face Set

Item 2

Item Name: A,3a-3b+2b-2c,st  
 Item Type: Face Set

Task Link

Start: 2011/5/60:0:0  
 End: 2011/7/20:0:0

Task Name: Oppsett4,system3

Name: Clash4

Distance: -1.63m

Image Location: cd000004.jpg

HardStatus: New

Clash Point: 12.55m, 33.83m, 214.23m

Date Created: 2011/5/209:23:06

Item 1

Item Name: A,c2-c6,st  
 Item Type: Face Set

Item 2

Item Name: A,3a-3b+2b-2c,st  
 Item Type: Face Set

Task Link

Start: 2011/5/260:0:0  
 End: 2011/7/20:0:0

Task Name: oppsett 4, system 3

Name: Clash5

Distance: -1.54m

Image Location: cd000005.jpg

HardStatus: New

Clash Point: 5.46m, 32.19m, 212.75m

Date Created: 2011/5/209:23:06

Item 1

Item Name: A,b2-b6,st  
 Item Type: Face Set

Item 2

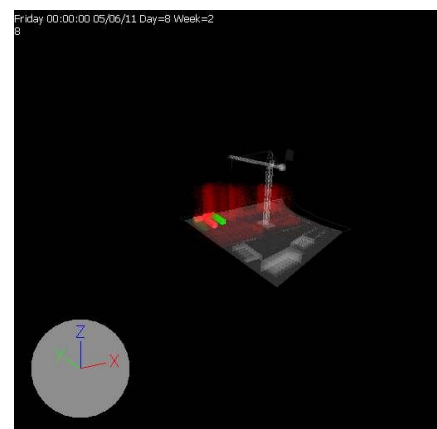
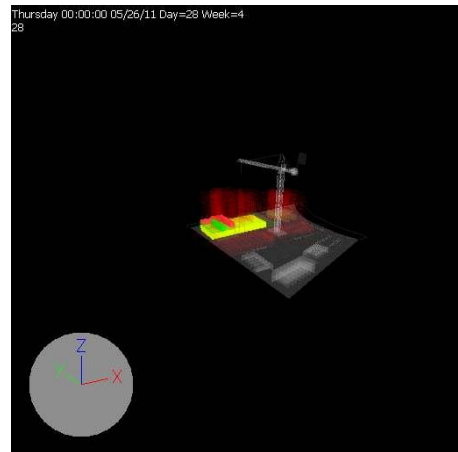
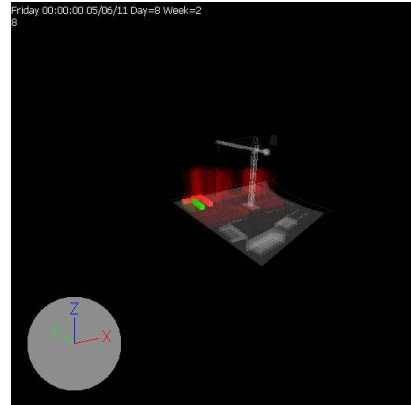
Item Name: A,3a-3b+2b-2c,st  
 Item Type: Face Set

Task Link

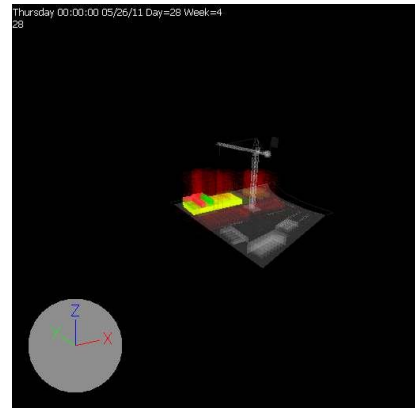
Start: 2011/5/60:0:0  
 End: 2011/7/20:0:0

Task Name: Oppsett4,system3

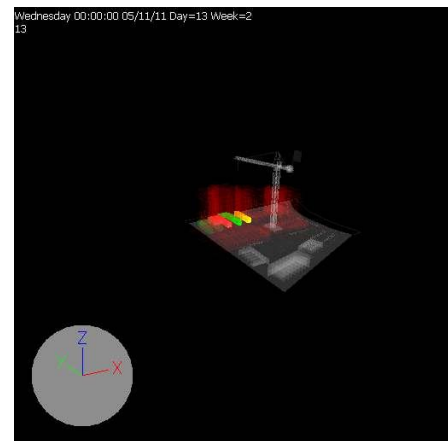
Name: Clash6



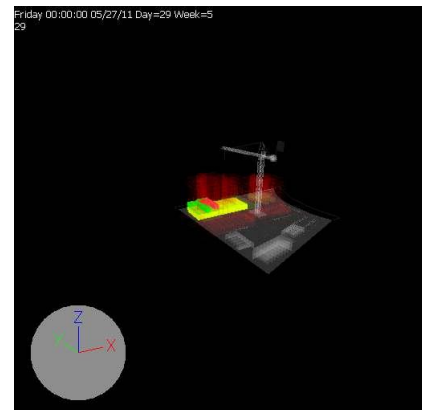
Distance: -1.54m  
 Image Location: cd000006.jpg  
 HardStatus: New  
 Clash Point: 5.46m, 32.19m, 215.75m  
 Date Created: 2011/5/209:23:06  
 Item 1  
 Item Name: A,b2-b6,st  
 Item Type: Face Set  
 Item 2  
 Item Name: A,3a-3b+2b-2c,st  
 Item Type: Face Set  
 Task Link  
 Start: 2011/5/260:0:0  
 End: 2011/7/20:0:0  
 Task Name: oppsett 4, system 3  
 -----



Name: Clash7  
 Distance: -1.39m  
 Image Location: cd000007.jpg  
 HardStatus: New  
 Clash Point: 12.55m, 27.44m, 210.94m  
 Date Created: 2011/5/209:23:06  
 Item 1  
 Item Name: A,trappesjakt b2  
 Item Type: Face Set  
 Item 2  
 Item Name: A,c2-c6,st  
 Item Type: Face Set  
 Task Link  
 Start: 2011/5/110:0:0  
 End: 2011/7/20:0:0  
 Task Name: Oppsett5,system3  
 -----



Name: Clash8  
 Distance: -1.39m  
 Image Location: cd000008.jpg  
 HardStatus: New  
 Clash Point: 12.55m, 27.44m, 213.94m  
 Date Created: 2011/5/209:23:06  
 Item 1  
 Item Name: A,trappesjakt b2  
 Item Type: Face Set  
 Item 2  
 Item Name: A,c2-c6,st  
 Item Type: Face Set  
 Task Link  
 Start: 2011/5/270:0:0  
 End: 2011/7/20:0:0  
 Task Name: oppsett 5, system 3





-----  
Name: Clash9

Distance: -1.39m

Image Location: cd000009.jpg

HardStatus: New

Clash Point: 30.24m, 35.78m, 213.89m

Date Created: 2011/5/209:23:06

Item 1

Item Name: A,e1-e5,st

Item Type: Face Set

Item 2

Item Name: Abakvegg2

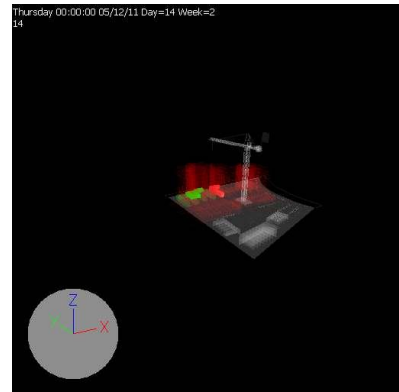
Item Type: Face Set

Task Link

Start: 2011/5/120:0:0

End: 2011/7/20:0:0

Task Name: oppsett 8, system 1



-----  
Name: Clash10

Distance: -1.39m

Image Location: cd000010.jpg

HardStatus: New

Clash Point: 20.15m, 35.78m, 213.35m

Date Created: 2011/5/209:23:06

Item 1

Item Name: A,d1-d5,st

Item Type: Face Set

Item 2

Item Name: A bakvegg 1

Item Type: Face Set

Task Link

Start: 2011/5/100:0:0

End: 2011/7/20:0:0

Task Name: oppsett 6, system 1

