

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP





## I Forord

Denne rapporten er avslutningen av et 2-årig masterstudium i Byggeteknikk og arkitektur ved Universitet for Miljø- og Biovitenskap. Arbeidet har gitt meg mulighet til å fordype meg i et tema som er meget tidsaktuelt. Jeg har også fått god kjennskap til byggebransjen og da spesielt entreprenørbransjen gjennom utarbeidelsen av oppgaven.

Jeg vil takke mine veiledere ved UMB, John Petter Langdalen og Eilif Hjelseth for innspill og hjelp gjennom utarbeidelsen av rapporten. I tillegg vil jeg takke Helene Hauge Olsen, Rune Scheele og Magnus Baggetorp fra AF Bygg Oslo for veiledning jeg har fått av dem. Jeg ønsker også å takke EDR for lån og opplæring av programvare fra Vico Software, og da spesielt Thomas Bauer Sousa.

Ås, desember 2011

---

Kjetil Ramstad



## II Sammen drag

Oppgaven har sett på muligheter og utfordringer for hvordan BIM og skråstreksplanlegging (4D) kan brukes for å effektivisere fremdriftsplanleggingsprosessen sammenlignet med en tradisjonell 2D-basert produksjonsplanlegging.

Det ligger store utfordringer i kombinasjonen mellom den enorme mengden av individuelle aktiviteter og aspekter som er typisk for et byggeprosjekt og de manuelle planleggingsmetodene som tradisjonelt benyttes i byggebransjen. Den tradisjonelle måten å planlegge prosjekter på inneholder få verktøy for å visualisere og simulere den 3- og 4 dimensjonale virkeligheten som planlegging av et byggeprosjekt er. Ved hjelp av 2D-tegninger og fremdriftsplanen må fremdriftsplanleggeren mentalt visualisere den komplekse 3- og 4 dimensjonale virkeligheten. Gantt-diagrammer som er den typiske måten å fremstille fremdriftsplanen har sine begrensinger.

Som planleggingsmetode fokuseres det i oppgaven på skråstreksplanlegging. Ved skråstreksplanlegging som metode fremstilles fremdriftsplanen med en tidsakse og en stedsakse. Dette gir forbedrede muligheter for å få en oversikt over prosjektforløpet og for å se hvordan aktivitetene gjentas i forskjellig omfang på forskjellige deler av prosjektet.

Planleggeren kan ha nytte av 4D-modeller i opprettelsen, verifisering og kommunikasjonen av fremdriftsplanen. Forskning har vist at det er en rekke muligheter ved å ta i bruk 4D-modeller i planleggingsprosessen, men på tross av dette er det i liten grad tatt i bruk som et planleggingsverktøy i produksjonsfasen av et byggeprosjekt.

Årsaken til dette kan ha sammenheng med at bruken av BIM fortsatt er på et tidlig stadium og det tar tid før byggebransjen tar i bruk ny teknologi. En annen årsak kan være at teknologien ikke har kommet langt nok for en effektiv bruk av 4D-modeller. Forskning tyder på at det ligger begrensinger i dagens 4D-teknologi i forhold til å bli et nyttig og effektivt verktøy for planleggingen av produksjonen.

Med grunnlag i forskning og praktisk testing av programvare er det i rapporten utviklet en IDM for en 4D-planleggingsprosess. Ved å ta i bruk kunnskap fra tideligere forskningsstudier på tema har det vært fokus på å lage en IDM som løser noen av hovedkritikkene som er rettet i mot dagens 4D-teknologi.



### III Abstract

In this report we have looked into the possibilities and challenges when introducing BIM and location-based scheduling (4D) to make progress scheduling more efficient compared to a traditional 2D-based production scheduling.

There are large challenges in the combination between the large amount of individual activities and aspects that are typical of a construction project and the manual scheduling methods that are used by the construction industry. The traditional way to schedule projects contain few tools for visualization and simulation of the 3- and 4 dimensional reality that planning of a construction project really is. By the help of 2D-drawings and the scheduling plan the planner will have to mentally visualize the complex 3- and 4-dimensional reality. Gantt diagrams which are the typical method to present scheduling plans have limitations. In this report the focus has been on location-based scheduling. Location-based scheduling is a method that presents the schedule with a time axis and a location axis. This gives better possibilities to gain an overview over the project course and to see how the activities are repeated in different extent in different parts of the project.

The planner can have good use of 4D-models during creation, verification and communication of a schedule. Research have shown that there are a number of possibilities when starting to use 4D-modells in the planning process, but despite of this it is in little use as a planning tool in the production phase of construction projects. The cause of this might be that the use of BIM is still at an early stage and that it will take time before the construction industry makes use of the new technology. Another reason could be that development of the technology has not reached a stage where it is efficient enough to be used in 4D models. Research indicates that there are limitations in today's 4D technology as a useful and efficient tool in the production planning.

In this report an IDM for a 4D-planning process has been developed based on research and practical testing of software. By the use of knowledge from earlier research in this topic I have been focusing on developing an IDM that resolves some of the problems connected to the main points that have been criticized in the 4D technology.



## IV Innhold

<b>I</b>	<b>Forord.....</b>	<b>1</b>
<b>II</b>	<b>Sammendrag .....</b>	<b>2</b>
<b>III</b>	<b>Abstract.....</b>	<b>3</b>
<b>IV</b>	<b>Innhold .....</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>6</b>
1.1	Bakgrunn .....	6
1.2	Problemstilling.....	7
1.3	Avgrensing.....	7
1.4	Metode.....	7
1.5	Forklaring av forkortelser og begreper.....	9
<b>2</b>	<b>BIM.....</b>	<b>10</b>
2.1	Industry Foundation Classes - IFC.....	10
2.1.1	Støtte for IFC i modellbasert planlegging.....	10
2.1.2	Utvexlingskrav i en modellbasert fremdriftsplanleggingsprosess.....	11
2.1.3	Gapsanalyser og begrensninger .....	14
2.2	Implementering av prototyper .....	17
2.3	Proessen med 4D-planlegging .....	18
2.3.1	Vanlig praksis.....	18
2.3.2	Forbedret prosess .....	20
<b>3</b>	<b>Fremdriftsplanlegging.....</b>	<b>23</b>
3.1	Før bygging .....	23
3.2	Under produksjonen av bygget.....	23
3.3	Aktivitetsbasert planlegging .....	24
3.4	Skråstreksplanlegging .....	25
3.4.1	Historie .....	25
3.4.2	Metode .....	26
3.4.3	Oppdeling av prosjektet i arbeidsområder .....	27



3.4.4	Kobling av aktivitetene.....	28
<b>4</b>	<b>Integrated Design and Delivery Solutions (IDDS).....</b>	<b>29</b>
4.1.1	De fire hovedelementene i IDDS.....	29
<b>5</b>	<b>Modellbasert produksjonsplanlegging som metode for å støtte leveranse av plasstøpt betong.....</b>	<b>34</b>
5.1	Testbygg.....	34
5.2	Beskrivelse av prosessen.....	35
5.2.1	3D-modeller fra prosjekterende.....	35
5.2.2	Mengdeuttak til produksjon av plasstøpt betong.....	36
5.2.3	Mengdeuttaket.....	39
5.2.4	Fremdriftsplanen.....	40
5.2.5	Visualisering av tørketid for betong.....	45
<b>6</b>	<b>Resultater.....</b>	<b>47</b>
6.1	Forslag til IDM.....	47
6.1.1	Forslag til IDM for fremdriftplanlegging og leveranse av plasstøpt betong.....	47
6.1.2	Oppbygning av IDM.....	47
6.1.3	Prosesskart for fremdriftsplanlegging og leveranse av betong.....	47
6.1.4	Utvexlingskrav og binding mot IFC-formatet.....	51
<b>7</b>	<b>Diskusjon.....</b>	<b>54</b>
7.1	Innledning til diskusjon.....	54
7.2	Muligheter og utfordringer med 4D-planleggingprosess.....	55
7.2.1	4D-planlegging.....	56
7.2.2	Detaljnivå på BIM.....	57
7.2.3	Skråstreksplanlegging.....	59
<b>8</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>Litteraturliste.....</b>	<b>61</b>
<b>10</b>	<b>Vedlegg.....</b>	<b>63</b>
10.1	Vedlegg – Fellesspørsmål om organisasjonen hos AF Bygg Oslo.....	63
10.2	Vedlegg – Spørsmål om fremdriftsplanleggingen på byggeplass.....	64
10.3	Vedlegg – Spørsmål om 4D-planlegging.....	64



## 1 Innledning

Produktiviteten i byggesektoren har ikke hatt den samme positive utviklingen som fabrikkindustrien har hatt de siste tiårene. En årsak er at fabrikkindustrien har tatt i bruk en slank produksjonsfilosofi kombinert med bruken av modellbasert produktutvikling. Fabrikkindustrien har inspirert byggesektoren til å ta i bruk nye metoder for å øke produktiviteten. Man ser derfor at byggesektoren de siste årene har begynt å ta i bruk modellbaserte teknikker som hovedsakelig refereres til som bygningsinformasjonsmodellering(BIM). (Eastman et al. 2008)

I Norge har buildningSmart Norge jobbet med å utvikle og spre budskapet om bruk av BIM og åpne standarder, og i 2008 hadde organisasjonen et gjennombrudd. Statsbygg satte da krav om bruk av åpne standarder på alle prosjekter fra 2010.(buildningSMART 2008)

Aktørene i byggesektoren har nå begynt å forstå at det er nødvendig å ta i bruk BIM og åpne standarder for å kunne hevde seg i konkurransen om å bygge prosjekter i fremtiden.

De eksisterende prosessene i byggesektoren er tilpasset den tradisjonelle arbeidsmetoden med bruk av 2D-tegninger og dokumenter. Ved bruk av BIM og åpne standarder vil det være nødvendig å forandre eksisterende prosesser for å kunne oppnå alle fordelene med den nye teknologien. Ved innføringen av BIM i byggesektoren er det ikke bare en ny teknologi som må læres, men sektorens prosesser og aktørenes roller, oppgaver og ansvarsområder må også endres.

### 1.1 Bakgrunn

Fremdriftsplaner blir typisk representert i Gantt-diagrammer som gjerne er laget i MS Project. Gantt-diagrammene kan inneholde hundrevis eller tusenvis av individuelle aktiviteter. Diagrammene viser kun varighetene av aktivitetene. Evaluering og kommunisering av tiden og byggesekvensene krever derfor at prosjektdeltakerne mentalt assosierer informasjonen i fremdriftsplanen med beskrivelsen av den fysiske bygningen.

Bestemmelse av varigheten på oppgavene i fremdriftsplanene bør gjøres med grunnlag i mengder, produksjonsrater og ressurser. I dag er det ofte planleggerne ikke bruker nøyaktig mengder og produksjonsrater, istedenfor bruker de et intuitivt overslag over hvor mye arbeid man kan rekke i løpet av en uke med en gitt bemanning. Mengdene finner man i dag ved å måle på 2D-tegninger noe som er tidkrevende oppgave. Et mengdeuttak fra en 3D-modell som brukes sammen med optimaliserte produksjonsrater kan derfor trolig øke kvaliteten på fremdriftsplanene.

Tidligere forskning har vist at bruken av 4D-modeller kan være et nyttig verktøy for å verifisere og kommunisere fremdriftsplanen. På denne måten kan det oppnås en økning i produktiviteten på byggeplass.



Studier i Finland har vist interessante funn med hensyn til produktivitet for skråstreksplanlegging i forhold til en aktivitetsbasert planleggingsmetode som er den vanlige og mest brukte planleggingsmetoden.

## 1.2 Problemstilling

*Muligheter og utfordringer ved BIM kombinert med skråstreksplanlegging (4D) i forhold til effektivisering av fremdriftsplanleggingsprosessen sammenlignet med en tradisjonell 2D-basert produksjonsplanlegging.*

## 1.3 Avgrensning

Det var i utgangspunktet et ønske om å ha en mer praktisk prosjektspesifikk tilnærming til oppgaven med støtte fra fagpersoner som jobber med de ulike fagfeltene som er tema i oppgaven. Av gitte årsaker ble ikke oppgaven fullført innenfor normert tid. Konsekvensen av at oppgaven ble skjøvet på i tid var at veilederne i AF Bygg Oslo i den perioden det meste av oppgaven ble utført ikke hadde kapasitet til å yte nødvendig støtte. For at oppgaven med sitt utgangspunkt skulle være gjennomførbar måtte det gjøres visse endringer i avgrensningen.

Oppgaven retter seg mot entreprenørbransjen og hvordan bruken av BIM og skråstreksplanlegging kan brukes for effektivisere og kvalitetssikre fremdriftsplanleggingen i produksjonsfasen i den hensikt å øke den totale verdiskapingen.

Det fokuseres på hvordan byggeledelsen hos en totalentreprenør kan ta i bruk modellbaserte fremdriftsplanleggingsmetoder som hjelp for å visualisere og kommunisere fremdriftsplanen i forhold til dagens 2D-baserte metoder.

## 1.4 Metode

Det har i denne oppgaven blitt benyttet ulike metoder for komme frem til en besvarelse av problemstillingene. En stor del av oppgaven har vært å sette seg inn i litteratur om hovedemnene. Metoder som ble brukt i oppgaveløsningen var:

**1. Litteratursøk på internett.** Hovedsakelig er det benyttet nettbaserte elektroniske søkemotorer for å finne relevant litteratur i form av artikler og bøker innenfor fagområdene, BIM, produksjonsplanlegging, aktivitetsbasert planlegging, skråstreksplanlegging, BIM i produksjonsplanleggingen, 4D-CAD, buildingSMART. Det ble fokusert på å finne vitenskapelige artikler som var skrevet av anerkjente forskere innenfor sitt fagfelt. BIM er et nytt fagområde som utvikler seg raskt, derfor ble artikler av nyere art prioritert. En rekke bøker som omhandler temaene BIM, fremdriftsplanlegging og entreprenørbransjen er gjennomgått.

**2. Møter.** Forfatteren har deltatt på flere møter i AF Bygg Oslo, både som observatør og deltaker. Dette har vært møter som blant annet har handlet om temaer som kalkulasjon, BIM i kalkulasjonsprosessen, BIM og kollisjonskontroll, og fremdriftsplanlegging. Disse





møtene var nyttige bidrag for å forstå entreprenørbransjen og hvilke utfordringer den står ovenfor.

**3. Test av programvarer.** Det er testet programvarer for mengdeuttak av 3D-modell og fremdriftsplanlegging fra Vico Software. Testingen ble gjennomført på et reelt prosjekt som var under bygging med AF Bygg Oslo som hovedentreprenør. Det lå et større potensial i testen av programvaren enn hva resultatet ble, men som nevnt i avgrensningen var det på dette tidspunktet liten tilgang på veiledning fra AF Bygg Oslo samt at det aktuelle prosjektet var under tidspress.

### **Masteroppgavesamarbeid**

I en tidlig fase av oppgaveløsningen var det et samarbeid med Anders Qviller og Terje Skogheim, begge studenter ved UMB. Dette var et samarbeid om tilnærmingen til stoffet og felles kontakt med AF Gruppen. Samarbeidet medførte nyttige diskusjoner om et felles grunntema i oppgavene.

Masteroppgaver for samarbeidspartner:

- Anders Qviller: **Mengdeuttak til kalkulasjon**
- Terje Haug Skogheim: **Mengdeuttak og fremdriftsplanlegging av produksjon**



## 1.5 Forklaring av forkortelser og begreper

Forkortelser eller begreper	Forklaringer
BIM	BIM står for BygningsInformasjonsmodell – når man snakker om produktet – og BygningsInformasjonsModellering – når man snakker om prosessen. De to viktigste bokstavene her er I og M for informasjonsmodellering. Når vi skal modellere bygninger med arealer, bygningsdeler, installasjoner og utstyr, opprettes det objekter (f.eks. en dør, IfcDoor), som kan tildeles egenskaper (f.eks. brannklasse) og ha relasjoner (f.eks. tilhører denne branndøren en del av en vegg). Statistiske tegninger og geometriske figurer går dermed over til å bli dynamiske, interaktive og selvanalytiske digitale modeller. (buildningSMART 2008)
IFC	Et lagringsformat. IFC står for Industry Foundation Classes. IFC er en av grunnlagsstandardene blant buildingSMART standardene. IFC definerer begrepene og sammenhengen mellom disse i en IFC fil. En IFC fil inneholder informasjon fra en Bygningsinformasjonsmodell (BIM) som kan utnyttes av et annet program.(buildningSMART 2008)
IDM	Forretningsprosesser. Information Delivery Manual. Koble utarbeidelse og bruk av BIMen (IFC-modellen beriket med IFD-terminologi) til relevante forretningsprosesser som planleggings-, bygge- og FDVU-prosesser.(buildningSMART 2008)
IFD	Terminologi. International Framework for Dictionaries gjør at de begreper som benyttes i BIM-en entydig blir forstått, og presist beskriver det man ønsker å uttrykke. For dette formålet finnes IFD Library, som er bygd opp basert på ISO12006-3-standarden for referansebiblioteker. (buildningSMART 2008)
Interoperabilitet	Med interoperabilitet så menes to eller flere systemers evne til å utveksle informasjon og å nyttiggjøre seg av informasjonen som er utvekslet. Rapporten omhandler interoperabilitet knyttet til applikasjoner, data og kommunikasjon.(SINTEF 2005)
CAD	Computer-aided design, Dataassistert konstruksjon
BuidingSMART	buildingSMART er i prinsippet 4 ting: en ide – effektiv informasjonsflyt er nøkkelen for å utnytte mulighetene som ligger i moderne IKT, et sett standarder – standarder som muliggjør effektiv informasjonslogistikk, en organisasjon – buildningSMART International som er ansvarlig for å fremme og forvalte standardene og prosjekter – arenaer. (buildningSMART 2008)
CIB	Foreningen ” International Council for Research and Innovation in Building and Construction” (CIB) ble etablert I 1953 og har som formål å stimulere og tilrettelegge for internasjonalt samarbeid og utveksling av informasjon mellom statlige forskningsinstitutter i byggsektoren.



## 2 BIM

BIM, Bygningsinformasjonsmodell er en digital 3D-model som inneholder relevant informasjon i et byggeprosjekt. Bygninger og andre byggverk med arealer, bygningsdeler, tekniske systemer og utstyr modelleres i 3D-modellen. Bygningsinformasjonsmodeller modelleres ved hjelp av "intelligente" objekter som representerer fysiske elementer. DAK-objektene er "intelligente" fordi de kan tildeles egenskaper, og det er relasjoner mellom dem. En vegg kan, i tillegg til sine fysiske parametere og dens forhåndsbestemte relasjon til objektene rundt seg, være forsynt med informasjon som for eksempel oppbygning, pris, og materiale (Moen & Moland 2010).

### 2.1 Industry Foundation Classes - IFC

IFC er et nøytralt og åpent filformat for utveksling av data i bygg- og anleggsbransjen. Det er et objektbasert filformat med en datamodell som er utviklet av buildingSMART (International Alliance for Interoperability, IA) for å bedre interoperabiliteten mellom programvarer som brukes av ulike aktører i byggebransjen. Hensikten med IFC-formatet er å kunne gjøre det mulig å utveksle og dele BIM-data mellom applikasjoner utviklet av forskjellige programvareleverandører uten at programvaren trenger å støtte en rekke forskjellige formater. IFC-modellspesifikasjonen er åpen og tilgjengelig for alle og er ikke kontrollert av en enkelt organisasjon eller gruppe av aktører. Siden 2005 har IFC-spesifikasjonen blitt utviklet og vedlikeholdt av buildingSMART. IFC-spesifikasjonen IFC2x4 er den foreløpig siste versjonen som er utviklet, og ble utgitt i september 2010 (Wikipedia 2011).

#### 2.1.1 Støtte for IFC i modellbasert planlegging

Bruk av BIM som arbeidsmetode kan effektivisere og kvalitetssikre prosessene med fremdriftsplanlegging og kostnadsstyring på et byggeprosjekt. Dette kan eksempelvis være mer pålitelige mengder til innkjøp, planlegging og kostnadsstyring, og til å simulere og evaluere fremdriftsplaner. Det har vist seg at det har vært og at det er fortsatt mange utfordringer som må løses for å kunne ta i bruk BIM, slik at det blir et effektivt og kvalitetssikkert verktøy i fremdriftsplanleggingen og kostnadsstyringen av byggeprosjekter (Weise et al. 2009a).

En av hovedutfordringene for og effektivt kunne ta i bruk 4D-arbeidsmetoder er den manglende interoperabiliteten mellom programvarene. Det er gjort en rekke arbeider for å kartlegge prosesser og utvekslingskrav i forbindelse med fremdriftsplanlegging og kostnadsstyring, og hvordan disse kan standardiseres i det åpne filformatet IFC. Dette arbeidet ble startet allerede 1999 av Froese (Froese & YU 1999). Et prosjekt med navn Inpro jobbet med å kartlegge utvekslingskrav og støtte for IFC i en modellbasert fremdriftsplanleggingsprosess. Dette resulterte i et diskusjonsdokument hvor utvekslingskrav og mangler i forhold til IFC standardisering ble kartlagt (Weise et al. 2009a).



## 2.1.2 Utvekslingskrav i en modellbasert fremdriftsplanleggingsprosess

Det er grunnleggende sett tre domener som ligger til grunn for bruk av BIM i fremdriftsplanleggingen:

- Arkitektonisk utforming
- Modellbasert fremdriftsplanlegging
- Kostnadsstyring og mengdeuttak

Disse domene skal utveksle informasjon så derfor er utvekslingskrav for forbindelser mellom domene viktige og må kartlegges. Måten domene er delt inn på innbefatter ikke eierskap til informasjon eller rettigheter til tilgjengelighet. Dette betyr for eksempel at elementer fra det arkitektoniske domene ikke bare blir brukt (skapt, modifisert, slettet) av arkitektene.

Veggelement (IfcWall) er typisk et element som gjerne blir knyttet til det arkitektoniske domene, selv om veggen like gjerne kan opprettes av fremdriftsplanleggeren for å utføre 4D-simuleringer og kalkulering av mengder (Weise et al. 2009a).

### Sammendrag av utvekslingskrav

De følgende tabellene oppsummerer utvekslingskravene til de nevnte domene og forbindelsene mellom domene.

Arkitektonisk domene – sammendrag av utvekslingskrav	
Konsept	Beskrivelse
Bygningsstrukturen	Typiske bestanddeler som en bygning (hierarkisk struktur) typisk består av: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Byggetomt</li> <li>• Bygning</li> <li>• Bygningens etasjer</li> <li>• Rom</li> <li>• Bygningselementer</li> </ul>
Bygningselementer	Alle fysiske elementer som er relevante for bygningen og mengdeuttaket
Splitting av elementer	Dekomponering av bygningselementer i henhold til fremdriftsplanen (fører til et hierarki av bygningselementer)
Element representasjon	Lokalitet og geometri til bygningselementer
Elementegenskaper	Alle typer egenskaper eller mengder som beskriver bygningselementer, eksempelvis materialegenskaper, elementdimensjoner, volum, areal, osv.
Rutenett	Et sett av rutenett akser som kan bli brukt posisjonering av bygningselementer og definering av byggesoner
Byggesoner	Geometrisk plass i en bygning som brukes som definisjon byggesekvenser (vanligvis grunnlaget for splitting av bygningselementene, som er definisjonen av reglene)

Figur 1: Utvekslingskrav for arkitektonisk domene (Weise et al. 2009a).



Kostnadsstyring og mengdeuttak – sammendrag av utvekslingskrav	
Konsept	Beskrivelse
Anskaffelsesverdi	Pengebeløpet som er definert i henhold til en kostnadstype.
Enhetspris	Mengdeverdien som brukes til kalkulering av kostnader. Dette kan enten være antall elementer eller målbare verdier som lengde, areal, volum eller høyde.
Kostnadsfaktor	Kostnadsfaktor som kommer fra byggedetaljer eller eksterne påvirkninger.
Kostnadsgruppe	Gruppering av liknende elementer (eller kostnadselementer) som definerer en kostnadsgruppe.
Egenskaper relatert kostnadsgrupper	Kostnads relaterte egenskaper som hører til en kostnadsgruppe, eksempelvis mengder, totalkostnad, enhetskostnad og konsekvensfaktorer
Kostnadselement	Et element som er relevant for kostnad og/eller mengdekalkulasjoner.
Kostnadsstruktur	Kostnads relaterte egenskaper som hører til kostnadselementer, eksempelvis mengder, total kostnader, enhetskostnader og konsekvensfaktorer.
Kostnadsklassifisering	Videre klassifisering av kostnader i henhold til en veldefinert klassifiseringsmetode.
Hierarkisk kostnadsstruktur	Hierarkisk kostnadsstruktur som muliggjør å definere en nedbrytningsstruktur av kostnadselementene med vilkårlig dybde.
Kostnadsplan	Gruppering av kostnadselementer for forskjellige hensikter, eksempelvis mengdeliste, estimering av byggekostnader osv.

Figur 2: Utvekslingskrav for mengdeuttak og kostnadsstyring (Weise et al. 2009a).

Fremdriftsplanlegging – sammendrag av utvekslingskrav	
Konsept	Beskrivelse
Aktivitet	Definering av de aktivitetene som nødvendig å utføre i oppføringen av en bygningskonstruksjon.
Fremdriftsplan	Logisk samling av aktiviteter som er nødvendig for å fullføre en spesifikk jobb.
Tidsbetingelser	Tidsrelatert informasjon om prosessene, eksempelvis start, slutt, varighet, osv.
Logisk avhengighet mellom aktivitetene	Logiske avhengigheter definerer arbeidsflyten som beskriver eller begrenser byggeprosessen (Foregående /etterfølgende forbindelse i prosessen).
Hierarkisk oppbygning av aktiviteter	Detaljering av arbeidsaktiviteter inn i underaktiviteter som muliggjør videreutvikling av fremdriftsplanen i dybden.
4D-visualiseringsparameter	De følgende grunnleggende parameterne trengs: <ul style="list-style-type: none"> <li>Varsel som indikerer om en arbeidsoppgave skal</li> </ul>



	<p>visualiseres eller ikke</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prosesstype (konstruere, midlertidig, rive, start_periode, middel_periode, slutt_periode)</li> <li>• Farge på element</li> <li>• Element gjennomsiktighet</li> </ul> <p>I tillegg, er det mer sofistikerte parametere slik som:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• "skalering" (tidsavhengig voksende/fullføring av elementer)</li> <li>• Transportvei for elementer</li> <li>• Omkringliggende egenskaper (GIS data, bakgrunnsbilder, osv.)</li> </ul>
Visualiseringsmaler/mønster	Maler/mønster som kan holde visualiseringsparametre og kan bli knyttet til prosesser.
Ansvarlig aktør og nødvendig ressurser	Informasjon som muliggjør beregning av varigheten for en aktivitet. Hovedaspekter er elementmengdene men også brukt maskineri og menneskelige ressurser (se også link til kostnadsstyring/mengdeuttak).

Figur 3: Utvekslingskrav for fremdriftsplanlegging (Weise et al. 2009a).

Linker mellom domene – sammendrag av utvekslingskrav	
Konsept	Beskrivelse
Kobling mellom aktiviteter/arbeidsoppgaver og bygningselementer	Dette er nødvendig for 4D-simulering av byggeprosessen og beregningen/kalkuleringen av mengder.
Referanser til splittingsregler/-spørsmål.	Splittingsregler er en måte å øke hastigheten på opprettelsen av fremdriftsplaner og 4D-simuleringer. På den måten fanger de opp planleggerens intensjon om utforming. I tilfelle endringer i design gjør dette det mulig å gjøre om på hvordan elementene er delt opp.
Link mellom aktiviteter/arbeidsoppgaver og mengde/kostnad informasjon	Mengde- og kostnadsinformasjon er kalkulert av kalkulator og trengs til estimering av varighet på aktiviteter.
Link mellom gitter (akser) og byggesoner	Omfatter definisjonen av byggesoner, som kan være basert på gitterakser.
Innholdet av bygningselementer i byggesonene	Bygningselementer som er (fullstendig) lokalisert innenfor en byggesone.
Link mellom bygningselementer og mengde-/kostnadsinformasjon	Mengde- og kostnadsinformasjon er basert på bygningselementer som er planlagt av arkitekten. Mengder for kostnadsberegning og bygningselementmengder avhenger av hverandre men er ofte ikke identiske.

Figur 4: Utvekslingskrav for linker mellom domene (Weise et al. 2009a).



### 2.1.3 Gapsanalyser og begrensninger

I prosjektet Inpro ble det utført gapsanalyser med grunnlag i blant annet IFC skjema (IFC2x3 og IFC2x4). Gapene er beskrevet i egne gapstabeller for hver av domene. Tabellene viser hva som enten mangler i forhold til IFC eller som ikke er klart for implementering for hvert konsept. Følgende tegn er brukt for å beskrive situasjonen:

- "++" ingen mangler
- "+" støttet av IFC, men ikke helt klar
- "0" behov for implementeringsavtaler
- "-" realiserbart, men med mangler eller begrensninger
- "--"Ikke støttet av IFC enda

#### Gapsanalyse - linker mellom domene

Figur 5 viser den samlede konklusjonen for å håndtere utveksling av data mellom domene. Tabellen viser at det er mange gap, som hovedsakelig skyldes manglende implementeringsavtaler.

Link mellom domene – sammendrag av gap-analyse		
Konsept	IFC2x3	IFC2x alpha
Kobling mellom aktiviteter/arbeidsoppgaver og bygningselementer	++	++
Referanser til splittingsregler/-spørsmål.	-	-
Link mellom aktiviteter/arbeidsoppgaver og mengde/kostnad informasjon	0	0
Link mellom gitter (akser) og byggesoner	-	-
Innholdet av bygningselementer i byggesonene	-	0
Link mellom bygningselementer og mengde-/kostnadsinformasjon	0	0

Figur 5: Sammendrag av gaps-analyse. (Weise et al. 2009b)

#### Gapsanalyse – arkitektoniske domene

Data fra det arkitektoniske domene er viktige input senere i prosessen, det eksporteres derfor mye nødvendig data fra disse DAK-applikasjonene. Mange tilgjengelige DAK-applikasjoner er typisk basert på "the Coordination View, som er en undergruppe av IFC med tilleggskrav, derfor er analysen ikke bare for IFC men også "the Coordination View".

For det arkitektoniske domene er den samlede konklusjonen at det bare er noen mindre bemerkninger med hensyn til IFC. Det kan derfor konkluderes med at de viktigste kravene er



på plass for modellbasert fremdriftsplanlegging, i hvert fall i den siste versjonen IFC2x4 (Weise et al. 2009a).

Arkitektonisk design – sammendrag av gap-analyse			
Konsept	IFC2x3	IFC2x alpha	Coordination View (2x3)
Bygningsstrukturen	++	++	++
Bygningselementer	++	++	++
Splitting av elementer	+	+	0
Element representasjon	++	++	+
Elementegenskaper	++	++	-
Gitter/rutenett	+	+	+
Byggesoner	--	+	--
Unik identifikasjon	+	+	0

Figur 6: Sammendrag av gap-analyse for arkitektonisk domene (Weise et al. 2009b).

### Gapsanalyse – modellbasert fremdriftsplanlegging

Det har blitt gjennomført en rekke studier for implementering av IFC i prosessen med fremdriftsplanlegging og det er utviklet et par prototyper. Kartleggingen av IFC i forhold til fremdriftsplanlegging er diskutert blant annet i rapporter utviklet av Froese & Yu(1999). Generelt sett er det ikke noen store mangler i forhold til IFC på dette området. Utfordringene som finnes er i forhold til visning av arbeidsaktiviteter i et fremdriftsplanleggingsverktøy, og i forhold til kartlegging av forskjellige ID-konsepser. Det er også mangel på bestemmelser for bruken av IFC i forhold til 4D-visualisering. Det er ingen kommersielle applikasjoner som har implementert IFC-skjema for modellbasert fremdriftsplanlegging (Weise et al. 2009a).

Modellbasert fremdriftsplanlegging – sammendrag av gap-analyse	
Konsept	IFC2x3
Aktivitet/arbeidsoppgave	++
Fremdriftsplan	++
Tidsbetingelser	++
Logisk avhengighet mellom aktivitetene	++
Hierarkisk dannelse av aktiviteter	++
4D-visualiseringsparameter	0
Visualiseringsmaler/mønster	0

Figur 7: Sammendrag av gap-analyse modellbasert fremdriftsplanlegging (Weise et al. 2009b).

### Gapsanalyse – Kostnadsstyring og mengdeuttak

Innenfor domene kostnadsstyring og mengdeuttak er det ingen mangler/gap med hensyn til modellbasert fremdriftsplanlegging. Likevel er det ingen kjente applikasjoner, verken kommersielle eller prototyper som bruker IFC for kostnadsstyring/kalkulering og





mengdeuttak. Det finnes derimot DAK-applikasjoner som kan eksportere mengder knyttet til bygningselementer fra 3D-modeller. Mengdene kan brukes som grunnlag for å kalkulere kostnader ved å multiplisere dem med forskjellige faktorer (Weise et al. 2009a).

Kostnadsstyring og mengdeuttak– sammendrag av gap-analyse	
Konsept	IFC2x3 (IFC2x2)
Anskaffelsesverdi	++
Enhetspris	++
Kostnadsfaktor	++
Kostnadsgruppe	++
Egenskaper relatert kostnadsgrupper	++
Kostnadspost	++
Egenskaper relatert til kostnadselementer	++
Kostnadsklassifisering	++
Hierarkisk kostnadsstruktur	++
Kostnadsplan	++

Figur 8: Sammendrag gap-analyse for kostnadsstyring og mengdeuttak (Weise et al. 2009b).



## 2.2 Implementering av prototyper

Det har blitt gjort forsøk på å implementere prototyper for å teste ut modenhetsnivået på en IFC basert dataflyt med hensyn til modellbasert fremdriftsplanlegging. Et prosjekt med navn Inpro, utviklet to prototyper av programvarer som supplerte allerede eksisterende programvarer med mulighet for utveksling av data basert på IFC i alle delprosessene.



Figur 9: 4D-simuleringspakke med IFC grensesnitt (Weise et al. 2009b).

Det ble utviklet en komplett 4D-simuleringspakke som ble skrevet inn i Java og Java3D for å gi et fullverdig IFC grensesnitt. Det var mulig å importere ferdige IFC-modeller, inkludert geometri, egenskaper, mengder, kostnader, fremdriftsplanlegging og 4D informasjon.

For å gjøre prosessen med linking av aktiviteter med annen informasjon i fremdriftsplanen lettere har programvaren et tolkeprogram(interpreter) for linkingsregler inkludert muligheten for og automatisk splitte geometriske objekter i henhold til byggeseksjoner definert av en rutenett eller soner. Når en 4D-simulering først er definert, kan den sendes til andre prosjektdeltakere basert på IFC for en gjennomgang.

Fremdriftsplanleggingsverktøyet som ble brukt i forbindelse med prototypen for å redigere informasjon i fremdriftsplanen var MS Project. Det ble opprettet en toveis kommunikasjon mellom MS Project og 4D-simuleringspakke. Dette gjorde det mulig å sende data i begge retninger ved et enkelt klikk.

Formålet med utviklingen av 4D-simuleringspakken var å gi et åpent, IFC basert 4D-programvarepakke som gir grunnlag for forskning, ved å gi full tilgang til kildekoden som gir mulighet for utvikling av avanserte funksjoner som ikke er levert av kommersielt tilgjengelige programvarer.



## 2.3 Prosessen med 4D-planlegging

### 2.3.1 Vanlig praksis

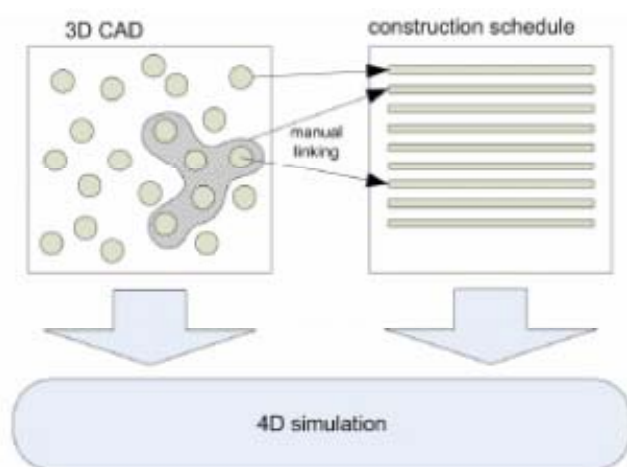
En mye brukt metode for å opprette en 4D-modell består av å linke aktiviteter i fremdriftsplanen med elementer i 3D-modellen. I prosessen med å lage en 4D-simulering er tre programvarepakker involvert. Dette kan være å linke elementene i en 3D-modell laget i ArchiCad med passende aktiviteter i fremdriftsplanen typisk laget i et program som MS Project. Disse to programvarene kan ikke kommunisere med hverandre eller dele noe informasjon, men dataen fra programvarene kan eksporteres separat til en 4D-simuleringsprogramvarepakke. Et mye brukt program til dette formålet er Navisworks.

Dersom det oppstår en feil eller det er behov for endringer må dette endres eller rettes i henholdsvis 3D-modellen eller i fremdriftsplanen. Deretter må informasjon fra 3D-modellen eller fremdriftsplanen eksporteres inn i 4D-simuleringsprogramvarepakken på nytt. Det kan i tillegg være et behov for å forandre på inndelingen av objektene i 3D-modellen slik at objektene kan linkes til passende aktiviteter i fremdriftsplanen. Det er gjerne behov for flere omganger med revisjoner for å kunne oppnå den ønskede kvaliteten og presisjonen på fremdriftsplanen og visualiseringen.

For hver gang det gjøres en endring i 3D-modellen eller fremdriftsplanen må altså følgende oppgaver utføres:

- tilpasse og justere fremdriftsplanen (fremdriftsplanleggeren)
- forandre på detaljnivået i 3D-modellen, som vil si hvordan objektene i modellene er inndelt. (BIM-koordinator)
- eksportere data til programvare for 4D-simulering
- linke 3D-modellen til aktiviteter i fremdriftsplanen
- justere innstillingene for visualisering
- kjøre 4D-simuleringen

(Tulke & Haff 2008)

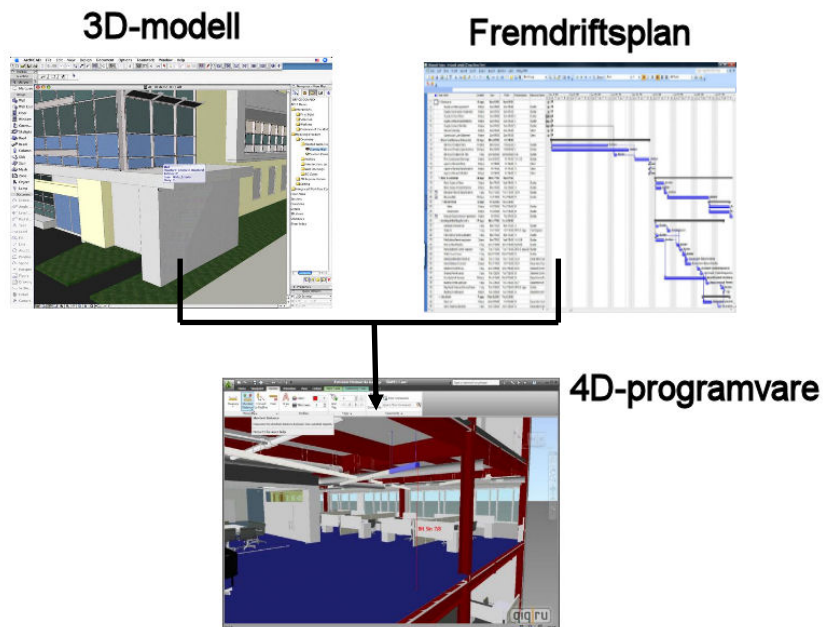


Figur 10: Viser forbindelsen mellom DAK-objekter og aktiviteter i fremdriftsplanen (Tulke & Haff 2008).

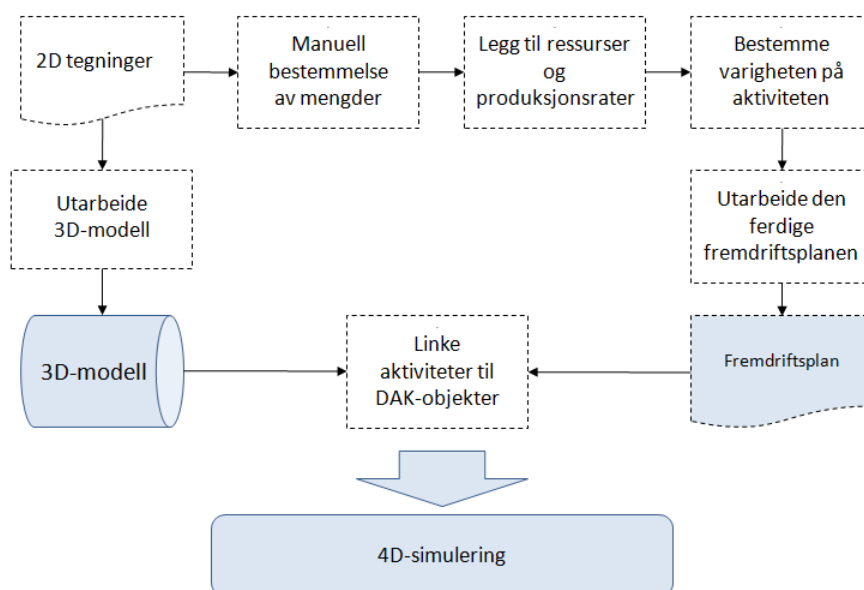


Linkene mellom aktivitetene i fremdriftsplanen og bygningselementene må forandres manuelt for hver gang det er noen endringer som gjøres enten i 3D-modellen eller i fremdriftsplanen.

4D-simuleringer som er laget på grunnlag av denne prosessen kan hovedsakelig brukes til å visualisere ulike byggesekvenser. Siden informasjon om mengder og ressursbehov ikke er linket til 4D-modellen kan det ikke gjøres direkte evalueringer av dette i simuleringen.



Figur 11: Programvareverktøy som er involvert i 4D-prosess.



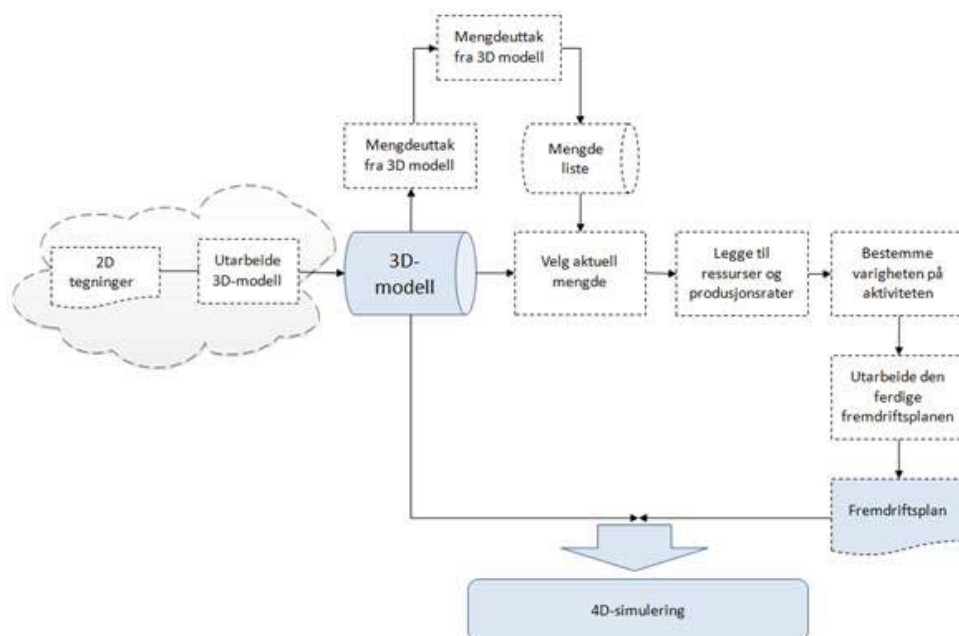
Figur 12: Prosesskart for 4D-planleggingsprosess på tradisjonell måte (Tulke & Haff 2008).



### 2.3.2 Forbedret prosess

I dette avsnittet beskrives eksempel på en forbedret prosess som blant annet inkluderer mengdeuttak for å bestemme varighetene i fremdriftsplanen og mulighet for å evaluere foreløpig fremdriftsplan i 4D-simulering.

Fremdriftsplanen viser aktivitetene i et byggeprosjekt og varigheten av disse aktivitetene. Når fremdriftsplanen skal lages må varighetene til aktivitetene i fremdriftsplanen bestemmes. Dette arbeidet kan effektiviseres ved å ta i bruk en BIM der mengdene kan hentes ut av en 3D-modell. Disse mengdene kan da brukes til å bestemme varigheten på aktivitetene i fremdriftsplanen. Mengdene som er hentet fra modellen blir lagret i en database. I denne databasen kan fremdriftsplanleggeren velge mengder på aktivitetsnivå. Avhengig av egenskapene og informasjon som er knyttet til objektene som mengdes kan fremdriftsplanleggeren velge ut mengder i databasen etter type objekter(f.eks. vegger, tak, søyler, dekker), nivåer i bygningen(f.eks. 1.etasje og 2.etasje) eller etter faggrupper(betongarbeid, stålarbeid). Mengdene som er hentet ut av 3D-modellen og lagret i databasen kan knyttes til en spesifikk aktivitet i fremdriftsplanen for å bestemme varigheten til aktiviteten. På denne måten blir forbindelsene mellom aktivitetene og DAK-objektene gradvis etablert. Dette betyr at forbindelsene mellom aktivitetene i fremdriftsplanen og DAK-objektene allerede blir etablert gradvis under utarbeidelsen av fremdriftsplanen. Den regelbaserte forbindelsen mellom mengdelisten, DAK-objektene og aktivitetene gjør at det er enklere å håndtere endringer og 4D-simuleringen kan oppdateres automatisk (Tulke & Haff 2008).



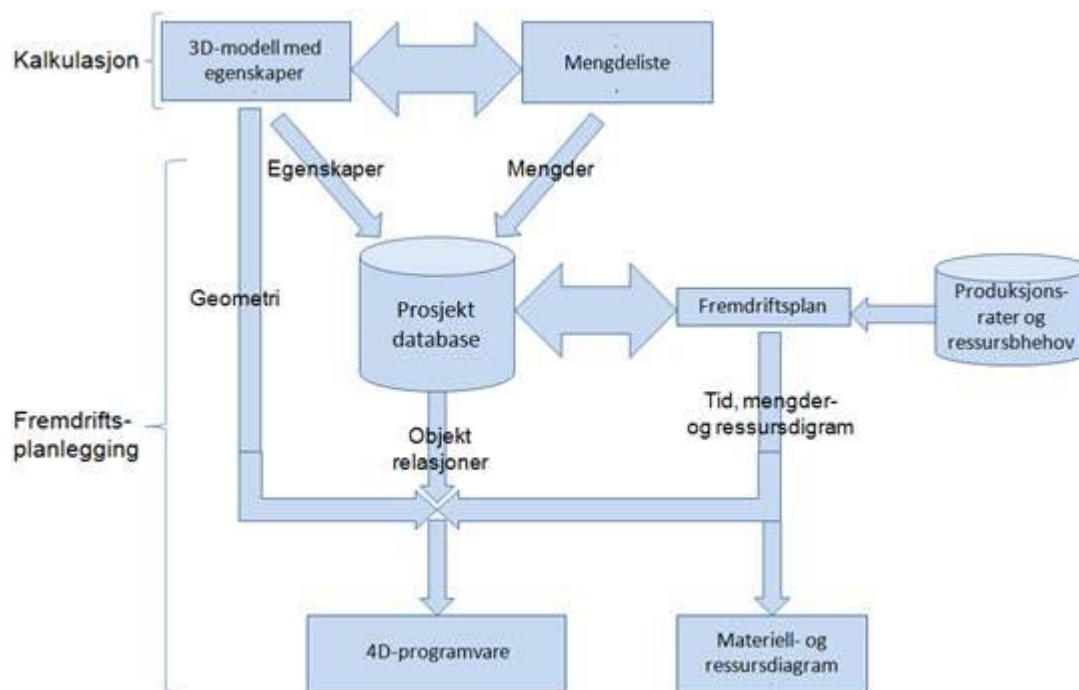
Figur 13: Prosesskart for 4D-planleggingsprosess forbedret metode (Tulke & Haff 2008).



Dataflyten i prosessen beskrevet over kan grunnleggende sett deles inn i kalkulasjon og fremdriftsplanlegging. Det er hovedsakelig to programvarepakker som kommuniserer med hverandre i hver av de to delene.

I kalkulasjonsdelen av prosessen trengs det et modelleringsprogram for å utarbeide en 3D-modell og en programvarepakke for å hente ut mengdene ut av modellen for å lage en mengdeliste. Mengdelisten er en liste med mengdene til DAK-objektene fra 3D-modellen.

I fremdriftsplanleggingsdelen av prosessen utveksles det data mellom en prosjektdatabase og en programvare for å lage fremdriftsplanen i prosjektet. Prosjektdatabasen inneholder data om egenskapene og informasjon tilknyttet DAK-objektene og de kalkulerte mengdene. Mengdelisten som er lagret i prosjektdatabasen er skjæringspunktet mellom kalkulasjon og fremdriftsplanlegging (Tulke & Haff 2008).



Figur 14: Datamodell for 4D-planleggingsprosess (Tulke & Haff 2008).

Fremdriftsplanleggeren velger en mengde fra prosjektdatabasen og legger inn en produksjonsrate som brukes til å bestemme varigheten til en aktivitet i fremdriftsplanen. Når varigheten av en aktivitet skal bestemmes er det mulighet for å legge inn informasjon i programvare for fremdriftsplanlegging om mengden av oppgaven som skal utføres, produksjonsraten på arbeidet, faggruppen som skal utføre oppgaven og, tilgjengelige arbeidsressurser for å utføre oppgaven. Når denne blir informasjonen blir lagt til aktivitetene i fremdriftsplanen kan behov for materiell og arbeidskraft analyseres gjennom hele prosjektet.



Mengdelisten inneholder ikke bare mengder hentet fra 3D-modell, noen mengder må bestemmes manuelt. Årsaken til dette kan være at 3D-modellen ikke er detaljert nok, eller at det er raskere å bestemme mengdene manuelt, f.eks. kompliserte fasader.

Under utarbeidelsen av fremdriftsplanene lagres det linker, i databasen, mellom mengdene og aktivitetene i fremdriftsplanen. Når fremdriftsplanleggerne ønsker å gjennomføre en 4D-simulering må datageometrien fra 3D-modellen, start- og sluttdatoer på aktivitetene fra fremdriftsplanen og relasjonene mellom aktivitetene og DAK-objektene fra prosjektdatabasen eksporteres til en 4D-programvare.

Fremdriftsplanleggeren kan når som helst under utarbeidelsen av fremdriftsplanen verifisere den foreløpige fremdriftsplanen i en 4D-simulering, siden linkene mellom aktivitetene og DAK-objektene allerede er etablert (Tulke & Haff 2008).



### 3 )remdriftsplanlegging

Fremdriftsplanen fastsetter start, varighet og ferdigstillelsesdato for et prosjekt eller en oppgave. Ved hjelp av fremdriftsplanen kan man på forhånd vite når en spesifikk handling skal finne sted. Entreprenører og underentreprenører er alle avhengig av at bedriften deres drives lønnsomt. For å drive en lønnsom bedrift er entreprenøren avhengig av å ha flere jobber samtidig som må samkjøres med hverandre. Når en spesifikk jobb skal begynne og når den er forventet å være ferdig er derfor vital informasjon for at entreprenøren skal kunne samkjøre oppgavene sine. I tillegg er det viktig å vite nøyaktig når en spesifikk oppgave på et prosjekt er ferdig siden noen deler av prosjektet ikke kan påbegynnes før en annen oppgave er ferdig.(Gould 2002)

Planlagt startdato på aktivitetene bestemmer når varer og utstyr trenger å være på byggeplass, når arbeiderne skal være til stede, og når leieutgifter på utstyr starter. Denne datoen er kritisk for nøyaktig prising av prosjektet. En forsinkelse på starten av prosjektet kan gi store utslag på kostnaden til materialer og arbeidskraft. Materialer som blir levert for tidlig til byggeplass tar opp plass og kan bli mistet, stjålet eller vandalisert. Eller leie av en stor kran kan koste mange tusen kroner for hver dag som går uten at den blir brukt. Disse sammenhengene gjør at nøyaktig informasjon om når de ulike aktivitetene finner sted er viktig for å unngå store økonomiske tap.(Gould 2002)

#### 3.1 Før bygging

Planleggingen av fremdriftsprosessen i prosjekteringsfasen er en mulighet til å utforme og bygge prosjektet "på papiret" eller nå etter at BIM blir mer brukt i "bits and bytes" før byggingen starter. Dette åpner muligheten for at alle prosjektdeltakerne kan visualisere byggeprosessen og bedre forstå hva som trengs for å koordinere hele prosessen på en god måte. Det er i denne fasen prosjektgruppen bestiller viktige komponenter som kan ha lang leveringstid som for eksempel stålkonstruksjon, betongelementer og heiser.(Gould 2002) Fremdriftsplanlegging i prosjekteringsfasen er viktig for å skaffe byggherren den nødvendige informasjonen til å planlegge å koordinere bedre hele byggeprosessen. Det å vite de nøyaktige datoene for når alle nøkkelbegivenhetene finner sted er viktig for suksessen av prosjektet.(Gould 2002)

#### Hovedfremdriftsplan

Totalentreprenøren i et byggeprosjekt lager som en del av detaljprosjekteringen av prosjektet en hovedfremdriftsplan. Hovedfremdriftsplanen er en grov tidsplan for det aktuelle prosjektet som viser den overordnede strategien for byggingen, milepæler i byggefasene og total varighet for prosjektet.

#### 3.2 Under produksjonen av bygget

Planlegging av fremdriften er ikke viktig bare i prosjekteringsfasen, den er helt nødvendig for en god koordinering av de ulike aktivitetene fra dag til dag på prosjektet. Leveranse av materialer og bruken av utstyr og arbeidskraft blir håndtert ved hjelp av fremdriftsplanen. (Gould 2002)





### Detaljplanlegging

Detaljplanen er planen som byggeledelsen bruker under produksjonen av bygningen. Denne planen viser en detaljert fremdrift av prosjektet der arbeidet er brutt ned til aktiviteter, og rekkefølgen og varigheten på aktivitetene blir vist. Utarbeidelsen av detaljplanen gjøres typisk av anleggsleder eller prosjektleder. Produksjonsplanleggeren bestemmer varigheten og de logiske avhengighetene mellom aktivitetene.

I dagens byggebransje finnes det i hovedsak to metoder for planlegging av produksjonen for byggeprosjekter, aktivitetsbasert planlegging og skråstreksplanlegging. Aktivitetsbasert planlegging er i dag, på verdensbasis og i Norge, den mest vanlige og dominerende metoden for planlegging av byggeprosjekter, men studier utført i Finland har vist at skråstreksplanlegging kan være bedre egnet for byggeprosjekter enn aktivitetsbasert planlegging. Skråstreksplanlegging tar hensyn til både det tidmessige og det romlige aspektet ved planleggingen av produksjonen, noe som gjør det enklere å oppnå en kontinuerlig arbeidsflyt og oppdage romlige konflikter som vil si at flere aktiviteter er planlagt på samme tidspunkt og samme sted.

Skråstreksplanlegging har blitt lite brukt i Norge, men Skanska har i samarbeid med Byggekostnadsprogrammet og Universitet i Agder gjennomført et prosjekt der det ble brukt metoder fra "Lean Construction" hvor "Last Planner" er en sentral metode for å få kontroll på byggeproduksjonen. Som en del av dette prosjektet ble det prøvd bruk av skråstreksplanlegging (Kalsaas et al. 2010).

Videre i dette kapitlet vil aktivitetsbasert planlegging bli kort presentert, mens det vil gås litt mer i dybden på skråstreksplanlegging. Det er valgt å legge størst fokus på skråstreksplanlegging fordi dette er en ny metode som er lite utprøvd i Norge og fordi studier i Finland har vist at det kan oppnås en større produktivitet med bruk av den metoden i forhold til en aktivitetsbasert planleggingsmetode.

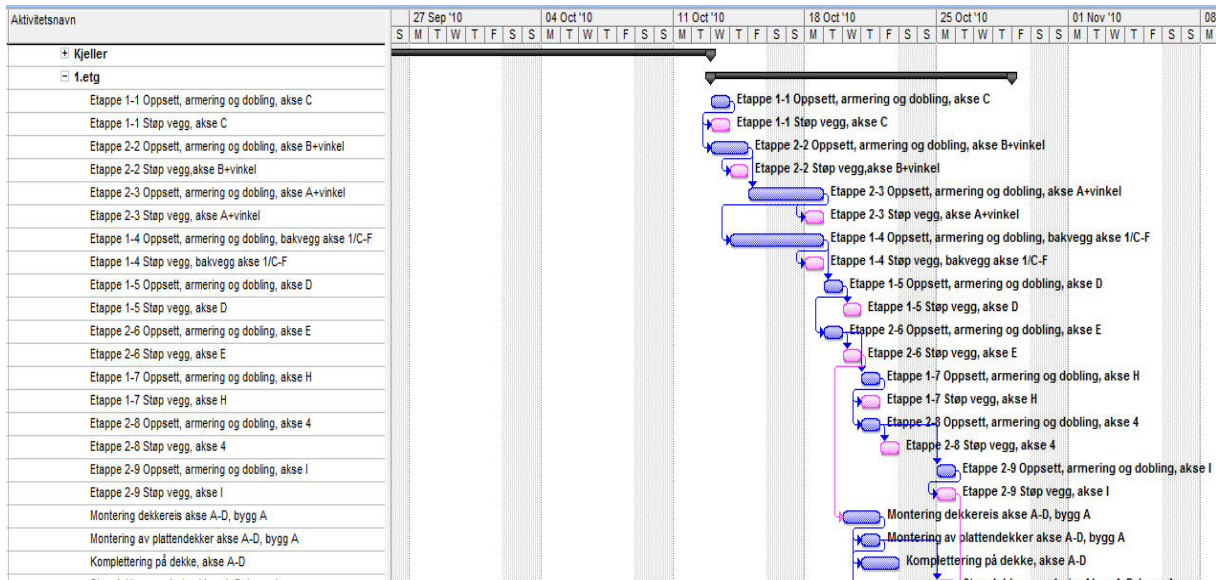
### 3.3 Aktivitetsbasert planlegging

Aktivitetsbasert fremdriftsplanlegging er den mest vanlige og dominerende teknikken for å planlegge fremdriften av prosjekter på verdensbasis og i Norge. Aktivitetsbaserte planleggingsteknikker ble først utviklet i 1950-årene, men teknikkene som ble utarbeidet var i stor grad bygget på arbeidene til Taylor og Gantt fra tidlig på 1900-tallet. Selskapet E.I. Du Pont Nemours (Dupont) startet forskning i 1959 som førte til de opprinnelige arbeidene til Kelly og Walker på Univac Applications Research Centre i 1957. Kelly og Walker utarbeidet forskningsartikler som beskrev metoden. De kalte metoden for "Critical Path Method", navnet ble valgt p.g.a. den sentrale posisjonen som kritiske aktiviteter har i et prosjekt hvor denne metoden brukes. (Kenley & Seppanen 2009)

Det er to undergrupper av aktivitetsbasert metodelære, "Critical Path Method (CPM)" og "Program Evaluation and Review Technique (PERT)". "Critical Path Method" brukes som



metode for å kalkulere en minimumsvarighet for et helt nettverk av aktiviteter, og er den metoden som anvendes på de fleste av dagens byggeprosjekter. Mens, "Program Evaluation and Review Technique" retter fokuset mot en bedømmelse av sannsynlighet og risiko for å imøtekomme tidsfrister, og brukes gjerne på store kommersielle prosjekter. (Kenley & Seppanen 2009)



Figur 15: Eksempel på en aktivitetsbasert fremdriftsplan fremstilt grafisk ved Gantt-diagram laget i Microsoft Project (AF Bygg Oslo)

## 3.4 Skråstreksplanlegging

### 3.4.1 Historie

Skråstreksplanlegging er en alternativ metode til aktivitetsbasert planlegging basert på sporing av kontinuitet for arbeidslag som jobber seg gjennom bygningen. Denne metoden er opprinnelig basert på grafiske teknikker utviklet så tidlig som på begynnelsen av 1900-tallet av Adamiecki og ble brukt som et system for produksjonsledelse så tidlig som i 1929 på kjente prosjekter som Empire State Building. Teknikkene ble videreutviklet av Goodyear kompaniet i 1940-årene og av den amerikanske marinen (US Navy) i 1950-årene. Metodene har vært lite brukt i kommersielle prosjekter, dette på tross av at det ble gjennomført omfattende forskning på teknikkene på i 1960- og 1970-årene (Kenley & Seppanen 2009). Unntaket er Finland, hvor stedsbaserte planleggingsmetoder har blitt brukt i stort omfang i byggebransjen siden 1980-årene. Metodene ble innført i Finland og tatt i bruk på kommersielle byggeprosjekter av professorene Kankainen og Kiiras fra Universitet for teknologi i Helsingfors (Kenley & Seppanen 2010).

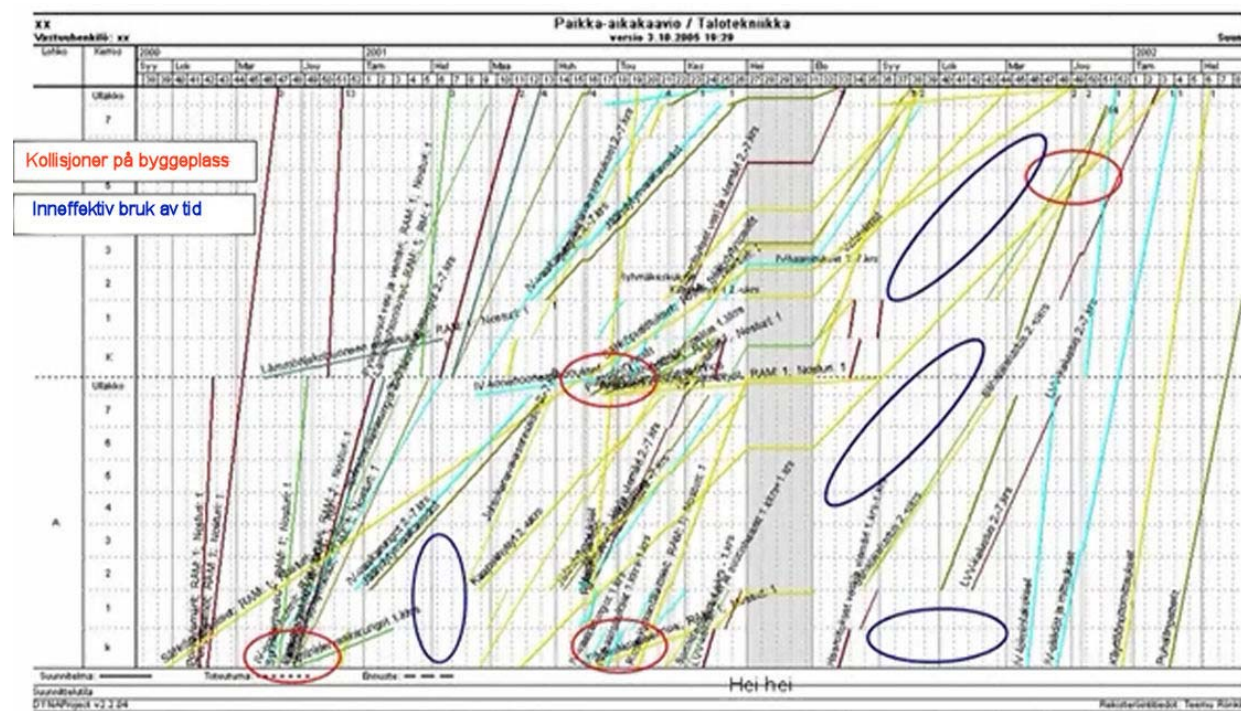
På slutten av 1990-årene startet professor Kankainen og hans forskningsgruppe en ny forskningsstudie for å øke planleggingsferdighetene i den finske industrien. Resultatene av forskningsstudiene ble brukt i et prosjekt for å utvikle en programvare som kunne brukes som et planleggings- og kontrollverktøy. Etter to tiår med forskning presenterte professorene Kankainen og Seppanen en fullstendig metode for å planlegge og kontrollere



produksjonen av prosjekter, kalt "Location-Based Management System". Forskningen resulterte også i programvaren DynaProject som er videreutviklet av Vico Software og programvaren har nå navnet Vico Control 2009.(Kenley & Seppanen 2010)

### 3.4.2 Metode

Skråstreksplanlegging er en ressursorientert planleggingsmetode der ressursenes flyt gjennom prosjektet er en viktig del av planleggingen. Målet er å få ressursene til å flyte jevnt mellom prosjektets steder eller lokaliteter. I skråstreksplanlegging vises alle de forskjellige aktivitetene med både en tidsakse og en romakse(steder). Det bestemmes altså både når og hvor aktivitetene skal gjennomføres. På grunnlag av dette kan man tegne opp "tid/rom-diagram" eller "flowline-diagram", som er måten skråstreksplanlegging framstilles grafisk. Y-aksen i "flowline-diagrammet" viser en hierarkisk inndelt stedsakse som viser prosjektets fysiske steder, og x-aksen viser prosjektets tidsforløp. De forskjellige aktivitetene blir vist i diagrammet som streker. Strekenes helning indikerer arbeidsintensiteten på aktivitetene, mens avstanden mellom strekene viser avstanden mellom aktivitetene både i tid og rom.(Andersson & Christensen 2007)

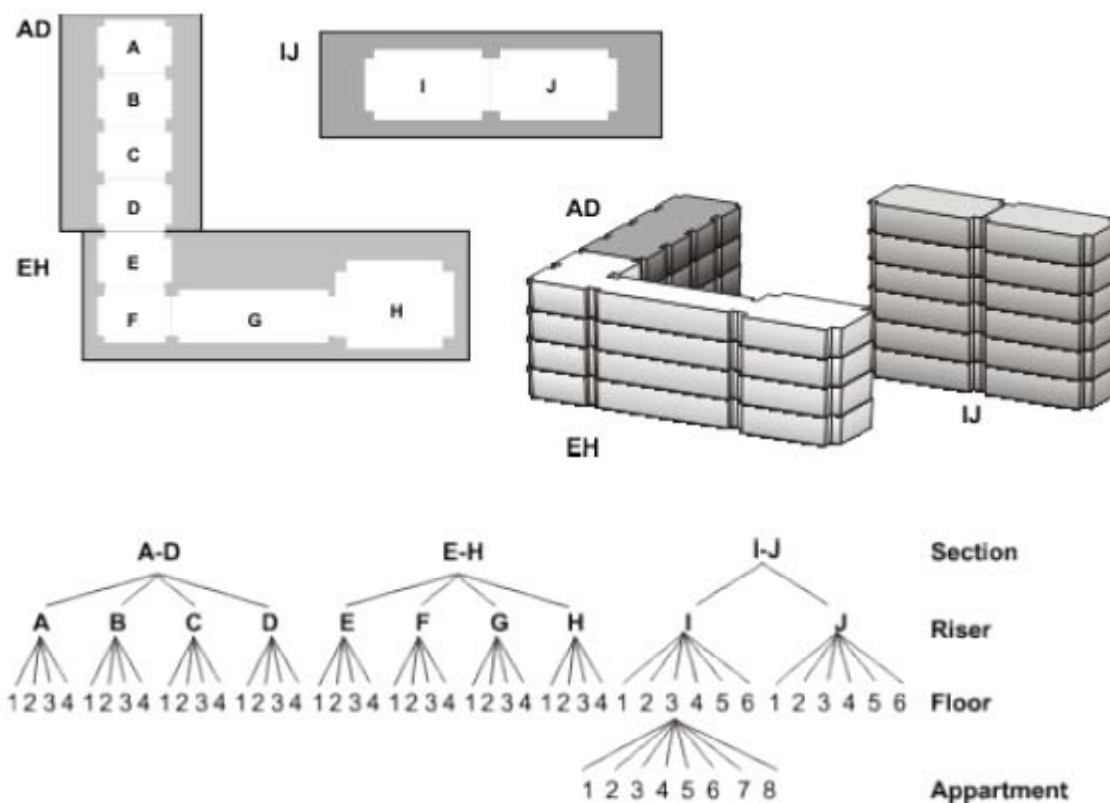


Figur 16: Flowline-diagram hvor aktivitetene vises som streker. De røde sirklene indikerer hvor aktiviteter kommer i konflikt. Blå sirklene viser hvor det er ledig områder som kan utnyttes mer effektivt.(Vico Software)



### 3.4.3 Oppdeling av prosjektet i arbeidsområder

Oppdeling av prosjektet i lokaliteter eller arbeidsområder er en sentral del av skråstreksplanlegging. Prosjektet deles opp i hierarkiske lokalitetsstrukturer, hvor hver aktivitet i prosjektet tilhører en lokalitet. Den mest åpenbare hierarkiske lokalitetsstrukturen er bygning – etasje – leilighet – rom. Hver aktivitet blir koblet til en lokalitet og en logisk kobling mellom aktivitetene. Dette er en viktig forskjell med skråstreksplanlegging i forhold til aktivitetsbasert planlegging, som kun håndterer logiske koblinger. Stedsnedbrytning av prosjektet i lokaliteter er en viktig del av skråstreksplanlegging, likevel finnes det per i dag ikke en entydig og veldefinert teori eller metode for, hvordan stedsnedbrytningen i lokaliteter gjøres mest optimalt for et gitt prosjekt (Andersson & Christensen 2007). Figur 17 viser eksempel på hvordan to bygninger kan deles opp i lokaliteter. Det øverste hierarkiske nivået er Bygning 1 og Bygning 2, der Bygning 1 deles opp i seksjoner fra A-H og Bygning 2 i seksjoner fra I-J. Hver seksjon er videre inndelt i etasjer og seksjonene i hver etasje består av flere leiligheter. Et steg ned videre i den hierarkiske lokalitetsstrukturen ville vært inndeling av rommene i leilighetene til å representere en lokalitet hver.



Figur 17: Eksempel på stedsnedbrytning av et prosjekt. (Seppanen og Kenley)

En lokalitet avgrenses typisk av en bygnings fysiske enheter, f.eks. rom, leilighet, etasje. Dette er ikke alltid mulig. En lokalitet kan defineres som en fritt avgrenset del av en bygning. Et eksempel på dette kan være en sportshall eller lignende som kan deles opp i flere seksjoner, hvor hver seksjon utgjør en egen lokalitet. Årsaken som ligger til grunn for å dele



en fysisk lokalitet opp i "virtuelle" seksjoner kan f.eks. være, at lokaliteten er stor nok til, at flere aktiviteter kan foregå samtidig.(Andersson & Christensen 2007)

### **3.4.4 Kobling av aktivitetene**

Stedsbasert planlegging bruker de tradisjonelle logiske aktivitetsbindingene, som er kjent fra CPM – metoden. De logiske bindingene forteller hvordan aktivitetene er knyttet til hverandre. Men de logiske bindingene tar ikke høyde for prosjektets lokaliteter og de begrensninger, som er knyttet til lokalitetene for de enkelte aktiviteter. Stedsbasert planlegging tilfører ytterligere muligheter i prosjektplanleggingen, ved at de logiske bindingene også inneholder aktivitetens lokaliteter.



## 4 Integrated Design and Delivery Solutions (IDDS)

Foreningen "International Council for Research and Innovation in Building and Construction" (CIB) ble etablert i 1953 og har som formål å stimulere og tilrettelegge for internasjonalt samarbeid og utveksling av informasjon mellom statlige forskningsinstitutter for bygg og anlegg. CIB har nå utviklet seg til å bli et verdensomspennende nettverk av over 5000 eksperter fra rundt 500 medlemsorganisasjoner innenfor forskning, industri og utdanning. Disse samarbeider og utveksler informasjon i over 50 CIB komiteer som dekker alle felt innen for bygg og anlegg relatert til forskning og innovasjon.

Tidlig i 2006 startet CIB utviklingen av et konsept kalt " "Intergrated Design Solutions" (IDS). På et medlemsmøte i 2009 valgte man å legge til "Delivery" i navnet på konseptet slik at det nå er kalt "Intergrated Design and Delivery Solutions"(IDDS). IDDS arbeidsgruppen har gitt konseptet følgende definisjon:

*"Intergrated Design and Delivery Solutions bruker samarbeidsprosesser og økte ferdigheter, integrerte informasjons- og automasjonssystemer og kunnskapsforvaltning til å minimere struktur og prosess ineffektiviteten og for å øke verdien av det som blir levert under prosjektering, bygging og drift, og på tvers av prosjekter"(CIB 2009a)*

### 4.1.1 De fire hovedelementene i IDDS

IDDS systemet er delt inn i fire hovedelementer for å systematisere og effektivisere arbeidet. (CIB 2009a)

- Samarbeidsprosesser(Collaborative processes, Integrerte arbeidsprosesser)
- Økte ferdigheter(Enhanced Skills)
- Integrerte informasjons- og automasjonssystemer(Integrated Information and Automation Systems)
- Kunnskapshåndtering (Knowledge management)

#### **Samarbeidsprosesser**

##### *Nåværende situasjon*

Arkitekter, ingeniører og rådgivere har ofte behov for å samarbeide selv om rasjonelle prosedyrer for å samarbeide integrert ofte mangler og ansvarsområder ofte blir uformelt definert. Det finnes eksempler på at enkelte entreprenører jobber på en integrert måte på enkelte prosjekter, eller at midlertidig prosjektsamarbeid blir etablert, men dette er relativt sjeldent. Dette skjer ikke selv om det tilsynelatende gir reduserte kostnader og tidsbesparelser samtidig som kvaliteten på produktet som leveres ofte bedres gjennom mer integrerte prosesser og arbeidsstrategier som støttes av IDDS. Det finnes enda færre eksempler på vertikalt integrerte samarbeid i leveransekjeden. En kultur der mistillit og rettstvister råder ser ut til å hindre eksperimentering og fremgang av IDDS sine prosesser og arbeidsstrategier. Mangel på tidlig kommunikasjon og samarbeid mellom de prosjekterende og de som utfører byggingen fører ofte til at nyttig informasjon aldri blir tatt hensyn til og at viktige detaljer blir misforstått. Bruk av iterative prosesser og gradvis utviklet design, er



praktisk talt umulig innenfor dagens strukturer, eller i beste fall blir det sjelden oppnådd. (CIB 2009a)

Systemet preges i stor grad av mistillit og byråkrati. Ting skal godkjennes, korrigeres og nye forslag forsinkes fordi få har beslutningsmyndighet. Alt skal gjennom en rigid prosess fordi man har liten tillit til at den enkelte har den kompetansen og karakteren som skal til for å ta den rette beslutningen. (Miller et al. 2009)

Et av de største problemene i planlegging og bygging av dagens byggeprosjekter er unøyaktig eller mangel på visualisering av prosjektinformasjonen. Hvis ikke bygget er fullt ut visualisert, forstått og kommunisert, blir ikke informasjonen gjengitt riktig i kontrakt dokumentene og dette vil føre til problemer under bygging. (CIB 2009a)

Dokumentbasert informasjonsutveksling på tvers av profesjoner og vertikalt i leveransekjeden fører ofte til at viktig informasjon blir misforstått eller mistet. Dermed blir beslutninger ofte gjort selvstendig uten tverrfaglig deltakelse, og i fravær av helhetlig og nøyaktig kunnskap.

Det meste av design og byggings relatert kommunikasjon består av informasjon som har blitt oversatt fram og tilbake mellom 2D og 3D. Visualisering, forståelse og virkeliggjøringen gjøres i 3D, mens det mest av kommunikasjonen gjøres i 2D ved hjelp av tegninger og spesifikasjoner. Når informasjonen har blitt oversatt frem og tilbake mellom 2D og 3D noen ganger av forskjellige individer, er der ikke overraskende at den kan bli ukjennelig (Kymmell 2008).

#### *Hvordan kan situasjonen bli ved hjelp av IDDS?*

Det å skape en mer effektiv og vertikalt integrert byggeprosess gjennom bruk av IDDS vil kreve både struktur- og prosessendringer. Forbedret design og leveranse gjennom bedre koordinering og integrering vil fjerne mange av de mest kostbare årsakene til sløsing. Helhetlig integrasjon av prosjektgruppen helt fra starten av prosjektet muliggjør at prosjektgruppen som en enhet blir en samarbeidende gruppe som nyttiggjør seg av den siste teknologien for å oppnå et suksessfullt resultat på prosjektet (Hardin 2009). Ansvarsfordelingen i kontraktene må være enhetlige og realistiske. Det må være insentiver i kontrakten for samarbeid istedenfor muligheter til rettstvister. For at hver deltaker skal være motivert til å samarbeide, må det lønne seg for alle medlemmene av prosjektgruppen (Kymmell 2008). Dersom man skal kunne oppnå dette kan ikke partnere i prosjektgruppen velges ut på samme måte som det gjøres i dag. I dag er det vanlig å legge oppdrag ut på anbud og velge den samarbeidspartneren med den laveste prisen. Ønsker man å skape en prosjektgruppe med stor tillit mellom deltakerne må man velge ut fra andre kriterier enn bare lav pris. Steven Covey mener det er to hovedkomponenter som må være på plass for å etablere tillit: karakter og kompetanse. Covey hevder videre at man bør gjennomføre en forhåndsutvelgelse basert på kompetanse, og en omfattende intervju prosess som gransker karakteren til firmaet (Miller et al. 2009). Informasjonsteknologiverktøy skal ikke bare brukes til informasjonsutveksling, men også gi økt kapasitet for kunnskapsdeling og utvikling. (CIB 2009a)



En grundig analyse av prosjektet og leveransekjeden for å avdekke muligheter til forbedring, vil indikere de mest effektive tiltakene sektoren må ta i bruk for å oppnå IDDS.

IDDS krever en fundamental forandring i arbeidsmønstret hos alle involverte, dette inkluderer byggherrer, leietakere og andre interessenter, som arkitekter, ingeniører, entreprenører og deres leveransejeder.

IDDS skal gi bedre bygg, ikke i form av bare spart tid og kostnader, men bygget skal ha større kvalitet i bruk. Større kvaliteter i bruk omfatter arkitektonisk utforming, utformingen av rommene i bygget, funksjonaliteten og den tekniske ytelsen til bygningen.

### **Økt kunnskap og ferdigheter(Enhanced skills)**

#### *Dagens situasjon.*

I dagens prosjektgrupper finner man ofte deltakere som har svært spesialisert kunnskap på sitt fagfelt. De økte kravene til resultater og kompleksitet i bygg krever flere fagfolk som har kompetanse og de rette holdningene for å ha et helhetlig perspektiv på byggeprosessen, og for å kunne tenke utenfor sin egen kompetanse (CIB 2009a). Få prosjektdeltagere har den nødvendige kunnskapen for å ta i bruk avansert informasjonsteknologi (som BIM) og enda færre har den nødvendige kompetansen for å ta den i bruk som en helhetlig strategi for å oppnå prosjektets mål. Kompetansen hos de ansatte holder ofte ikke tritt med den faglige utviklingen, og få organisasjoner gir sine ansatte den opplæring de trenger for å fungere effektivt i en helhetlig integrert prosess.(CIB 2009a)

#### *Hvordan kan situasjonen bli ved hjelp av IDDS?*

Fremtidige prosjekter som skal bruke IDDS på en effektiv måte vil kreve at deltakerne i prosjektgruppen har en felles oppfatning av hvilke arbeidsprosessene som er tilknyttet prosjektet, og at de sammen har de ferdighetene som er nødvendige for å ta i bruk disse arbeidsprosessene.(CIB 2009a)

Prosjektlederne vil måtte søke ansatte som har den nødvendige teknologiske kompetansen og ferdighetene til å ta i bruk denne kompetansen, i samarbeidsprosesser både horisontalt og vertikalt i leveransekjeden. Den økte bruken av interoperable dataverktøy og informasjon, vil fremme helhetlige arbeidsprosesser både mellom og innen ulike prosjektfaser (CIB 2009a).

Overgangen til IDDS innebærer en felles utvikling av kompetanse og ferdigheter som er nødvendig for og effektivt kunne utføre integrerte arbeidsprosesser. Dette krever at alle deltakerne i prosjektgruppen er innstilt på å ta i bruk nye arbeidsmetoder igjennom økt samarbeid og deling av informasjon og kunnskap mellom hverandre.

Byggherrer og prosjektledere må søke prosjektdeltakere med nødvendig kompetanse til å bruke IDDS og danne prosjektgrupper som oppmuntres til å bruke IDDS. Deltakerne i prosjektgruppen som er involvert tidlig i prosjektet må ha hele livssyklusen til prosjektet i tankene for å sikre at tidlige arbeidsprosesser vil gi den informasjonen og kunnskapen som er nødvendig for senere prosjektfaser. Byggherrer må se IDDS som en mulighet, ikke en byrde(CIB 2009a).





## **Integrert informasjon- og automasjonssystemer(Integrated information and automation systems)**

### *Dagens situasjon.*

Det finnes i dag et stort antall forskjellige programvarer. Programvarene som brukes av de ulike aktørene er svært forskjellige og er laget for sitt spesifikke bruk. Arkitekten bruker en programvare, byggingeniøren en annen, og VVS ingeniøren en tredje osv. Problemet i dag er å få disse programmene til å "snakke" effektivt sammen. Utarbeidelsen av IFC formatet er forsøk på å forbedre interoperabiliteten mellom programmene, men foreløpig fungerer dette for dårlig. Hvert enkelt fagfelt i prosjektgruppen trenger i dag en spesialist for å sjekke integriteten på data som utveksles. I denne prosessen må man sjekke at informasjon ikke har gått tapt og er overført riktig. Denne usikkerheten fører til at mange velger å legge informasjonen inn på nytt manuelt, dette fører til at informasjon kan gå tapt og at tidsbeparelse blir spist opp(CIB 2009a).

### *Hvordan kan situasjonen bli ved hjelp av IDDS?*

Ved bruk av IDDS i byggeprosessen har CIB ambisjoner om at bedre integrerte arbeidsprosesser og informasjonsteknologi vil føre til store fordeler under planleggings og designfasen av prosjektet. Bruk av IDDS vil videre gi bedre leveranse og drift av bygg på 2 måter. For det første vil fordelene fra integrerte arbeidsprosesser under designfasen gi fordeler til de som er ansvarlig for materialforsyning, bygging og drift. Og for det andre, integrasjon av fysiske arbeidsprosesser for fabrikasjon, installasjon, og i ferdigstillingen av nye anlegg vil ytterligere øke den generelle ytelsen i prosjektet.(CIB 2009a)

Det vil kreve mye arbeid på mange områder innenfor informasjonsutvekslingen dersom målene i denne visjonen til IDDS skal nås. Det vil være en del jobb å gjøre på de feltene som i buildingSMART sammenheng kalles MVD eller IDM. Modellen vil i løpet av prosjektet bli fylt med mye informasjon og det er da viktig at hver enkelt deltaker bare får den informasjonen han eller hun trenger slik at man unngår at noen "drukner" i informasjonen. Programvareleverandørene har også en utfordring foran seg hva gjelder interoperabilitet og modell integritet. Det er viktig at modellen blir framstilt riktig og at alle elementer kommer med og er på riktige plasser, slik at beslutninger kan tas på riktig grunnlag. Det er i tillegg ønskelig at programvaren etter hvert kan knyttes opp mot informasjonsdatabaser slik at informasjon kan utveksles.

En annen ting det må gjøres noe med for nå målene til IDDS er dagens avhengighet av 2D-tegninger. Her er det nødvendig med endrede krav og holdninger både i bransjen og fra kunder og myndigheter. IDDS-modellen bør etter hvert kunne danne grunnlag for kontrakter og bli så nøyaktig at man kan bruke den til fabrikasjon, planlegging og utførelse.(CIB 2009a)

Det vil være interoperabilitet mellom alle ledd i prosessen når programvarene blir så gode at aktørene ikke lenger trenger å forstå den komplekse teknologien som ligger bak for å ta den i bruk. Dette vil gi en sømløs samhandling mellom programvarene både horisontalt og vertikalt i leveransekjeden. Det vil ikke lenger være nødvendig med spesialister for å utvikle og administrere informasjonsutvekslinger mellom BIM programvarene.(CIB 2009a)



## Kunnskapsforvaltning (Knowledge management)

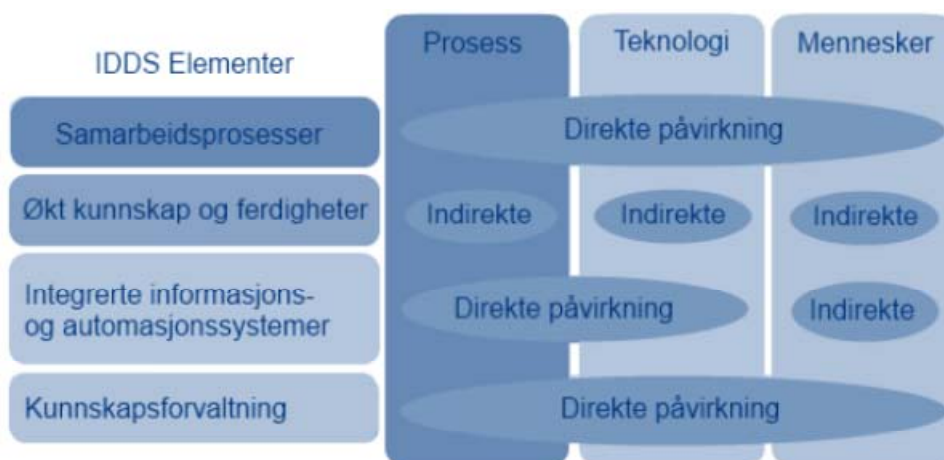
### *Dagens situasjon.*

De fleste firmaer har i dag begrenset bruk av standarder for kunnskapshåndtering. Det som finnes er som regel bestemt av ledelsen eller juridiske ansatte uten at disse har rådført seg med interne spesialister eller andre aktuelle interessenter. De systemene som finnes er ofte administrert av ledelsen, og ikke av en ekspertgruppe. Kunnskapen i det typiske firmaet eksisterer derfor ofte innenfor de enkelte avdelinger og deles sjelden med andre verken oppover eller nedover i systemet. Kulturen i bedriftene er ofte at de har en tendens til å skjule, istedenfor å belyse og løse problemer som oppstod i sine prosjekter. Innsamling og gjenbruk av prosjektkunnskap er ofte begrenset til gjenbruk av personell (CIB 2009a).

### *Hvordan kan situasjonen bli ved hjelp av IDDS?*

For å ta i bruk kunnskapshåndtering, slik enkelte ledende firmaer i bransjen har gjort krever systematisering. Man må ta i bruk og konstant oppdatere relevant kunnskap, og forretningsprosesser basert på interne og eksterne interessenters tilbakemeldinger. Disse tilbakemeldingene kan for eksempel inneholde erfaring om "beste løsning" eller "hva har vi lært" gjennom hele livsløpet til prosjektet. Bedriftskulturen må oppfordre til dokumentasjon av kunnskap og de ansatte må belønnes for sine innspill. Problemer og løsninger der flere firmaer og fagfelt samarbeider i ulike faser bør bli samlet inn og nedskrevet i en fortellende form. Målet med dette er å lage gjenbrukbare og potensielt automatiserte sjekklister med løsninger på kjente problemer (CIB 2009a).

For å oppnå god kunnskapsforvaltning kreves det effektive og enkle måter å samle inn og presentere kunnskap som automatiserte regler. En stadig utskiftning av arbeidstakere, ledelsesstrukturer og prosjektgrupper i byggeprosjekter krever automatisert innsamling av data og bearbeidelse av informasjonen. Kulturen i dagens bedrifter må derfor endres ved at de verdsetter høyere ansattes innspill, stimuler til gjenbruk av gode løsninger og større åpenhet mellom grupper, og å bygge praksisen på interessentenes tilbakemeldinger. (CIB 2009a)



Figur 18: IDDS elementenes innvirkning på prosess teknologi og mennesker (CIB 2009a).



## 5 Modellbasert produksjonsplanlegging som metode for å støtte leveranse av plasstøpt betong.

I dette kapitlet beskrives en prosess som kombinerer modellbasert planlegging med bruken av skråstreksplanlegging for å effektivisere prosessen med leveranse av plasstøpt betong.

Prosesen som vil bli presentert ble ikke testet ut på et reelt på prosjektet, men 3D-modeller og dokumenter fått av AF Bygg Oslo fra det aktuelle prosjektet ble brukt som grunnlag for å oppnå forståelse. Dette sammen med en test av BIM-verktøy fra Vico Software har gjort det mulig å utarbeide et forslag til effektivisering av prosessen med leveranse av plasstøpt betong til byggeplass.

### 5.1 Testbygg

Testbygget er et nybygg av 57 leiligheter på to bygningskropper over en felles garasjekjeller. Prosjektet ble utført i en totalentreprise og hadde en verdi på MNOK 113 eks. mva. Byggestart var april 2010 og arbeidet vil pågå frem til oktober 2011.



Figur 19: Visualiseringsbilde av Grefsenkollen 16 (Afgruppen.no)

Prosjektet på Grefsenkollen var det første prosjektet for AF Bygg Oslo hvor det ble arbeidet aktivt med at de prosjekterende innenfor hvert fagfelt skulle utarbeide 3D-modeller. 3D-modellene ble blant annet brukt til kollisjonskontroll mellom de ulike fagfeltene.

Byggets bærekonstruksjon består av plaststøpte betongvegger, stålsøyler, stålbjelker og etasjeskillere av plattendecker. (Se figur 21)



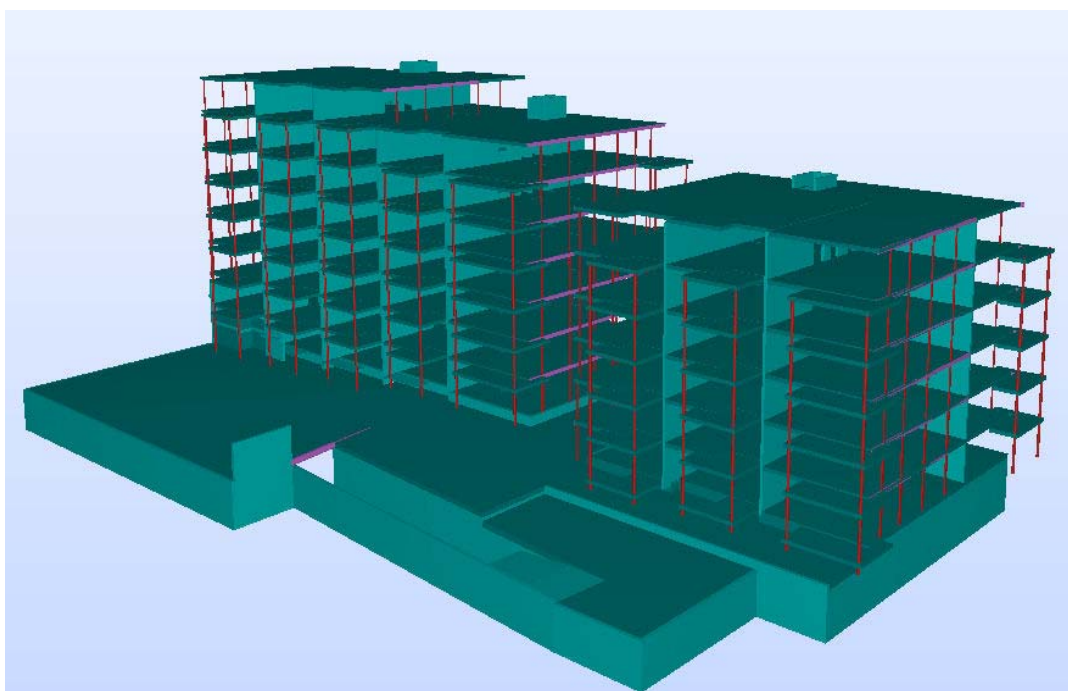
## 5.2 Beskrivelse av prosessen

### 5.2.1 3D-modeller fra prosjekterende

Arkitektmodell(Figur 20) og RIB-modell(Se figur 21) ble gjort tilgjengelig av AF Bygg Oslo for utførelsen av testforsøket.



Figur 20: Arkitektmodell av Grefsenkollen 16 laget i Autodesk Revit Architecture(AF Bygg Oslo)



Figur 21: RIB-modell av Grefsenkollen 16 laget i Tekla Structures(AF Bygg Oslo)



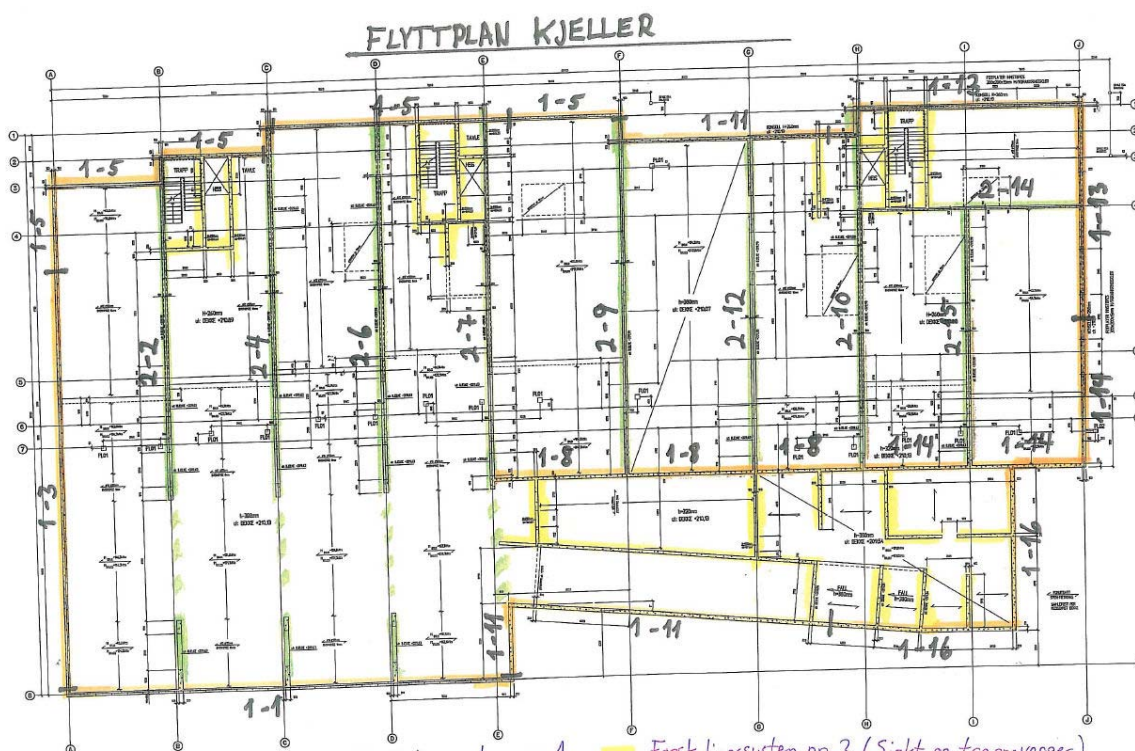
#

## 5.2.2 Mengdeuttak til produksjon av plasstøpt betong

### Oppdeling av prosjektet i soner

I prosjektet på Grefsenkollen hadde byggingeniøren utviklet en 3D-modell av råbygget (figur 21), denne modellen er derfor godt egnet til et mengdeuttak for å planlegge fremdriftsplanen for bærekonstruksjonen. Det var behov for å dele opp elementene i 3D-modellen slik at mengdene fra den kunne brukes for å planlegge og kalkulere varigheten til aktivitetene i fremdriftsplanen og videre gjennomføre en 4D-simulering. Oppdelingen av 3D-modellen ble gjort i et 3D-CAD verktøy. Oppdeling av 3D-modellen ble gjort med grunnlag i flytplaner og fremdriftsplanene som AF Bygg Oslo hadde laget for prosjektet.

Flytplanen (figur 22) viser geografisk hvor aktivitetene i den detaljerte fremdriftsplanen er tilknyttet. Fremdriftsplanen for bærekonstruksjonen er planlagt ved at en etasje gjøres ferdig før det begynnes på neste etasje. Det lages derfor en flytplan for hver etasje i prosjektet. Flytplanene som ble brukt var laget av AF Bygg Oslo ved å tegne på utskrifter av 2D-tegninger.



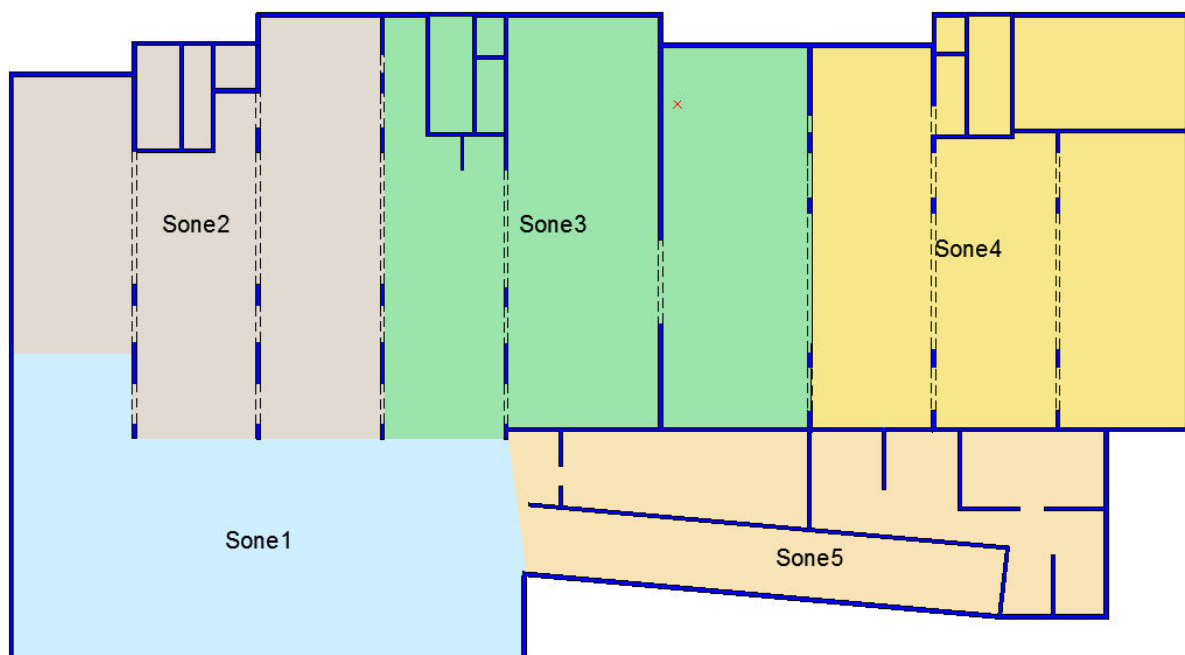
Figur 22: Flytplan over kjelleretasjen for prosjekt på Grefsenkollen (AF Bygg Oslo).

Ved bruk av skråstreksplanlegging som metode er det som beskrevet i kapittel 3.4.3 nødvendig å dele prosjektet opp i lokaliteter slik at hver aktivitet blir tilknyttet en lokalitet. Dette er nødvendig for at aktivitetene skal kunne fremstilles i et "flowline-diagram" med både en tid-akse og en rom-akse. Som beskrevet i kapittel 3.4.3 finnes det ikke en entydig og



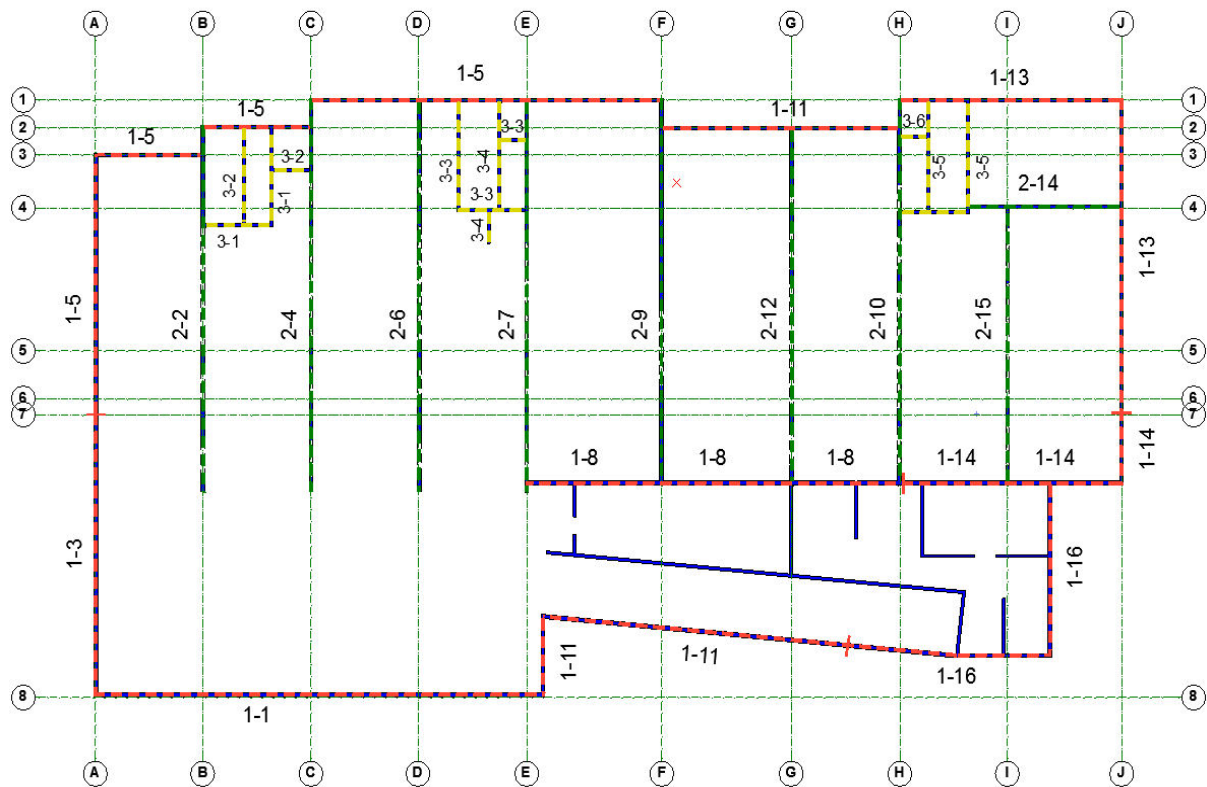
veldefinert metode for å dele inn et prosjekt i lokaliteter. For å kunne gjøre en god inndeling av prosjektet i lokaliteter kreves det detaljert kunnskap om produksjonen av prosjektet og det må tas hensyn til alle fagene.

Det er gjort en inndeling av kjelleretasjen på prosjektet i Grefsenkollen i lokaliteter. Kjelleretasjen som er et parkeringslokale kan defineres som et åpent lokale uten åpenbare fysiske avgrensninger. Lokalet er likevel stort nok til at flere aktiviteter kan foregå samtidig, og det er derfor nødvendig å dele etasjen inn i flere lokaliteter. Inndelingen i lokaliteter ble gjort slik at den opprinnelige CPM-fremdriftsplanen utarbeidet av AF Bygg Oslo kunne følges. Figur 23 viser inndeling i lokaliteter. Dette er ikke nødvendigvis den mest hensiktsmessige inndelingen, men er et eksempel for å vise prosessen.



Figur 23: Nedbrytning av kjelleretasjen i lokaliteter

Figur 24 viser hvordan veggene i kjelleretasjen ble delt inn i etapper, i tillegg ble dekket i overkant av kjelleretasje delt inn etapper. De stiplede linjene i rødt, grønt og gult indikerer tre ulike forskalingssystem.



Figur 24: Flytplan over kjelleretasjen tegnet inn i ArchiCad

Produksjonen av kjelleretasjen starter med "Etappe 1-1 Oppsett + arm og dobling". Dette betyr at veggen bygges ved at det først settes opp forskalingslementer på en side, så

monteres armeringen og deretter settes det opp forskalingslementer på andre siden, før det helles støpemasse ut i forskalingsformen. Produksjon av veggetappe 1-1 og veggetappe 2-2 foregår parallelt med en dag forsinkelse. Når veggetappe 1-1 og veggetappe 2-2 er ferdig støpt, starter oppsett av forskaling(dekkereis) for plattendecker og montering av plattendecker mellom akse A-B. Støping på plattendecker utføres i større etapper, hvor første støpe etappe er mellom akse A-D, etter at bærende vegger mellom akse A-D er ferdig støpt. Dette er et gjentakende mønster for hele etasjen fra akse A-J.





Figur 26: Forskalling av dekker

Ved mengdeuttak av 3D-modell kan man bruke et enkelt element til å representere flere aktiviteter. En enkel veggseksjon kan brukes til å ta ut mengder for forskalingsarbeid, armering, støping av vegg. Det kan altså legges til flere aktiviteter og aktivitetstyper til et enkelt element.

### 5.2.3 Mengdeuttaket

Det ble opprettet et prosjekt i Vico Office og 3D-modellen over det aktuelle prosjektet med filformat fra ArchiCAD ble eksportert til Vico Office. I Vico Office ble det utført et mengdeuttak i Vico Takeoff Manager som er en modul i Vico Office-pakke. Det ble opprettet en rapport som viste mengder for hvert bygningselement. Denne rapporten beskriver alle bygningselementene fullstendig ved målenheter etter soner. Den beskriver lengde, areal av begge sider og topp/bunn, og volum av elementet osv.

YV Støp Etp1-13	Quantity	Unit
Count	4,00	count
Length	34,44	meter
Reference Side Surface Area	128,75	square meter
Opposite Reference Side Surface Area	129,60	square meter
Top Surface Area	8,47	square meter
Bottom Surface Area	8,47	square meter
Ends Surface Area	8,33	square meter
Reference Side Opening Surface Area	0,00	square meter
Opposite Reference Side Opening Surface Area	0,00	square meter
Net Volume	31,79	cubic meter
Gross Volume	31,79	cubic meter
IV Støp Etp 2-7	Quantity	Unit
Count	8,00	count
Length	24,80	meter
Reference Side Surface Area	56,07	square meter
Opposite Reference Side Surface Area	56,07	square meter
Top Surface Area	5,96	square meter
Bottom Surface Area	5,96	square meter
Ends Surface Area	9,43	square meter
Reference Side Opening Surface Area	0,00	square meter

Figur 27: Utdrag av mengderapport fra Vico Office (Kjetil Ramstad 2011).



## Modellbasert produksjonsplanlegging som metode for å støtte leveranse av plasstøpt betong.



Det ble opprettet et Excel-ark som viste de aktivitetene som skal til for å oppføre bygget, i henhold til hvordan kjelleretasjen ble delt i etapper og soner som vist på figur 23 og figur 24. I Excel-arket ble den aktuelle mengden fordelt på aktivitetspostene og videre fordelt inn på sonene. Disse mengdene ble hentet fra rapporten fra mengdeuttaket av 3D-modellen. Innholdet i Excel-arket som viser aktivitetene og tilhørende mengder fra 3D-modell fordelt på soner, skal eksporteres til Vico Control. Figur 28 viser utdrag av dette Excel-arket.

Prosjekt:		Grefsenkollen					U1				
Etasje:											
Code	Name	Consumption hours/units	nok / units	nok	Cost type	Sone1	Sone 2	Sone 3	Sone 4	Sone 5	Unit
1.0	Oppsett yttervegg(1-1)					100					M2
1.1	Støp yttervegg(1-1)					24,8					M3
1.2	Oppsett innervegg(2-2)							47			M2
1.3	Støp innervegg(2-2)							12,3			M3
1.4	Oppsett yttervegg(1-3)					59					M2
1.5	Støp yttervegg(1-3)					14,8					M3
1.6	Oppsett innervegg(2-4)							48			M2
1.7	Støp innervegg(2-4)							12			M3
1.8	Oppsett yttervegg(1-5)S2							197,4			M2
1.9	Oppsett yttervegg(1-5)S3								65		M2
1.10	Oppsett innervegg(3-1)							40,5			M2
1.11	Støp innervegg(3-1)							7,95			M3
1.12	Støp yttervegg (1-5)S2							47,9			M3
1.13	Støp yttervegg (1-5)S3								15,7		M3
1.14	Oppsett innervegg(2-6)							43,8			M2
1.15	Støp innervegg(2-6)							11			M3
1.16	Dekkereis (A-B)S1					126,4					M2
1.17	Dekkereis (A-B)S2							113			M2
1.18	Dekkereis (B-C)S1					91,7					M2
1.19	Dekkereis (B-C)S2							55,3			M2
1.20	Dekkereis(C-D)S1					91,4					M2
1.21	Dekkereis(C-D)S2							115,7			M2
1.22	Plattendekke(A-D)S1					309,5					M2
1.23	Plattendekke(A-D)S2							284			M2

Figur 28: Utdrag av regneark (Kjetil Ramstad 2011)

### 5.2.4 Fremdriftsplanen

I Vico Control, som er et fremdriftsplanleggingsverktøy som bruker skråstreksplanleggingen som metode, ble det opprettet et prosjekt. For å kunne fremstille aktivitetene i fremdriftsplanen i flowline visning med både rom-akse og tids-akse er det viktig å dele inn fremdriftsplanen i samsvar med de lokalitetene som tidligere vist på Figur 23. Fremdriftsplanen som skal opprettes i Vico Control er begrenset til underetasjen av bygningen.

Etter at prosjektet var delt opp i lokaliteter ble dataen fra Excel-arket kopiert og limt inn i Vico Control. Dataen som ble hentet fra regnearket var aktivitetsnavn med mengder fordelt på lokaliteter. Figur 29 viser utdrag av data som ble kopiert inn i Vico Control.

Add method											
		Prosjekt:					U1				
		Etasje:									
		Sone:					Sone1	Sone2	Sone3	Sone4	Sone5
Code	Item	Consumption pe	nok / units	nok	Cost type						
1	1.0	Oppsett yttervegg(1-1)	1.15	0	0		100				
2	1.1	Støp yttervegg(1-1)	0.04	0	0		24.8				
3	1.2	Oppsett innervegg(2-2)	1.06	0	0			47			
4	1.3	Støp innervegg(2-2)	0.0398	0	0			12.3			
5	1.4	Oppsett yttervegg(1-3)	1.06	0	0		59				
6	1.5	Støp yttervegg(1-3)	0.0399	0	0		14.8				

Figur 29: Oversikt over data som ble hentet fra Excel til Vico Control(feil på bilde sone, C,D)

## Modellbasert produksjonsplanlegging som metode for å støtte leveranse av plasstøpt betong.



Med grunnlag i dataen fra Excel opprettes det en mengdeliste (Target bill of quantities) over aktivitetene fordelt på lokaliteter. Mengdelisten gir grunnlag for opprettelsen av aktivitetene i fremdriftsplanen. Figur 30 viser hvordan mengdelisten ser ut i Vico Control.

Hierarchy	Approved	Code	Name	Quantity	Unit	Cost type	Consumption	Man hours	Resources
+1	<input type="checkbox"/>	1.0	OPPSETT YTTERVEGG(1-1)	100	M2	1, 2	1.15	115	Betongarbeider: 3
+2	<input type="checkbox"/>	1.1	STØP YTTERVEGG(1-1)	24.8	M3	1, 2	0.04	1	Betongarbeider: 3
+3	<input type="checkbox"/>	1.10	OPPSETT INNERVEGG(3-1)	40.5	M2	1, 2	1.06	43	Betongarbeider: 3
+4	<input type="checkbox"/>	1.11	STØP INNERVEGG(3-1)	8	M3	1, 2	0.04	0	Betongarbeider: 3
+5	<input type="checkbox"/>	1.12	STØP YTTERVEGG (1-5)S2	47.9	M3	1, 2	0.0401	2	Betongarbeider: 3
+6	<input type="checkbox"/>	1.13	STØP YTTERVEGG (1-5)S3	15.7	M3	1, 2	0.04	1	Betongarbeider: 3
+7	<input type="checkbox"/>	1.14	OPPSETT INNERVEGG(2-6)	43.8	M2	1, 2	1.06	46	Betongarbeider: 3
+8	<input type="checkbox"/>	1.15	STØP INNERVEGG(2-6)	11	M3	1, 2	0.04	0	Betongarbeider: 1
+9	<input type="checkbox"/>	1.16	DEKKEREIS (A-B)S1	126.4	M2	1, 2	0.42	53	Betongarbeider: 3
+10	<input type="checkbox"/>	1.17	DEKKEREIS (A-B)S2	113	M2	1, 2	0.42	47	Betongarbeider: 3
+11	<input type="checkbox"/>	1.18	DEKKEREIS (B-C)S1	91.7	M2	1, 2	0.42	39	Betongarbeider: 3
+12	<input type="checkbox"/>	1.19	DEKKEREIS (B-C)S2	55.3	M2	1, 2	0.42	23	Betongarbeider: 3
+13	<input type="checkbox"/>	1.2	OPPSETT INNERVEGG(2-2)	47	M2	1, 2	1.06	50	Betongarbeider: 3
+14	<input type="checkbox"/>	1.20	DEKKEREIS (C-D)S1	91.4	M2	1, 2	0.42	38	Betongarbeider: 3
+15	<input type="checkbox"/>	1.21	DEKKEREIS (C-D)S2	115.7	M2	1, 2	0.42	49	Betongarbeider: 3
+16	<input type="checkbox"/>	1.24	OPPSETT INNERVEGG(2-7)	56	M2	1, 2	1.06	59	Betongarbeider: 3
+17	<input type="checkbox"/>	1.25	STØP INNERVEGG(2-7)	13.4	M3	1, 2	0.0403	1	Betongarbeider: 1
+18	<input type="checkbox"/>	1.26	OPPSETT INNERVEGG1-8(E-H)S3	74.5	M2	1, 2	1.06	79	Betongarbeider: 3
+19	<input type="checkbox"/>	1.27	STØP INNERVEGG1-8(E-H)S3	14.5	M3	1, 2	0.04	1	Betongarbeider: 1
+20	<input type="checkbox"/>	1.28	OPPSETT INNERVEGG(2-9)	58.6	M2	1, 2	1.0599	62	Betongarbeider: 3

Figur 30: Mengdeliste over poster som er grunnlaget for opprettelsen av aktivitetene i fremdriftsplanen (Kjetil Ramstad 2011).

For å beregne varighetene av aktivitetene i fremdriftsplanen er det nødvendig å legge inn enhetsmengder for materiell og arbeidsressurser. Som et eksempel viser figur 31 posten "Oppsett av yttervegg etappe 1-1". Mengden per enhet for materiell, beskriver hvor mye materiell som trengs for å utføre en enhet av aktiviteten. Mengden per enhet for arbeid, beskriver hvor lang tid en arbeider bruker på å utføre en enhet av aktiviteten. Som eksempel kan posten "Armering" brukes. Figuren 31 viser at det er behov for 24 kg armering per m<sup>2</sup> vegg, og totalt foroppsett av hele veggetappen 2400 kg armering. En arbeider bruker 0,25 timer per m<sup>2</sup> for å montere armeringen, og totalt 25 timer for hele veggetappen (tallene er ikke reelle).

Resource editing									
	Code	Item	Quantity / unit	Quantity	Unit	Cost type	nok / units	nok	Co
1	1.0	Oppsett yttervegg(1-1)		100	M2	1, 2	0	0	1.14
2	41	Forskalingsmateriell	2	200	M2	2	0	0	
3	65	Betongarbeider	0.9	90	HOUR	1	0	0	1
4	42	Armering	24	2400	KG	2	0	0	
5	65	Betongarbeider	0.25	25	HOUR	1	0	0	1
6									

Figur 31: Oversikt over enhetsmengder på en aktivitet som skal utføres (Kjetil Ramstad 2011).



Figur 32: Ressurser

Etter at de nødvendige enhetsmengder for materiell og arbeidsressurser er lagt til postene i mengdelistene kan de opprettes som aktiviteter i fremdriftsplanen. For å kunne beregne varigheten på aktivitetene er det i tillegg nødvendig å legge til de tilgjengelige arbeidsressursene som skal utføre aktivitetene. I boksen vist på figur 33 er det mulighet for å legge inn antall arbeidere på hver aktivitet, hvor mange arbeidslag som skal jobbe på aktiviteten og hvilken entreprenør som skal utføre arbeidet.

**Edit task: OPPSETT YTTERVEGG(1-1) (Total monitored quantity: 100.0 M2, Tar...**

Task Part:  Split... Combine... Copy

6: Risks | 7: Monitoring | 8: Cost | 9: Expense events | 10: Customize | 11: Diary  
 1: General | 2: Resources | 3: Dependencies | 4: Quantities | 5: Duration

Crew composition

	Code	Name	Quantity	Pf	Supplier
1	65	Betongarbeider	3	1	<no selection>
2					

Number:   
 Duration: 4.8 shifts  
 Update resources from quantities  
 Risks

Consumption

	Item	Consumption person hours/units	Production rate units/shift	Quantity	Cost type
0	Oppsett yttervegg(1-1)	1.15	20.8696	100 M2	1, 2

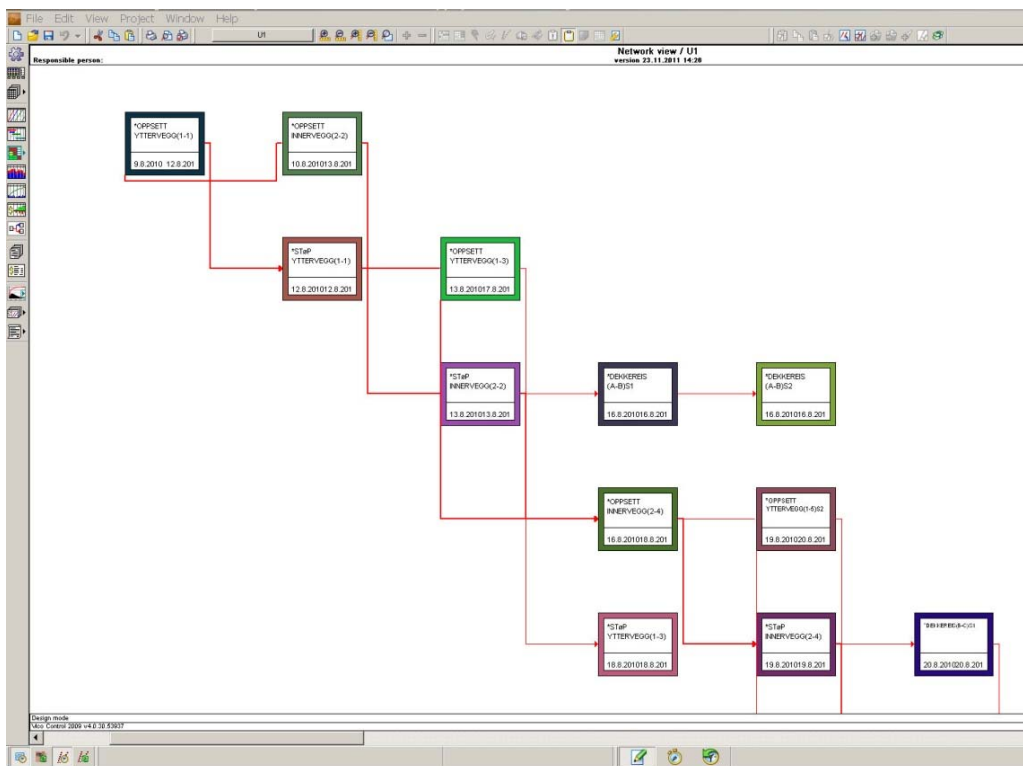
Use dependency order  << OK and previous OK and next >> OK Cancel

Figur 33: Legge til arbeidsressurser for aktivitetene (Kjetil Ramstad 2011)

Når aktivitetene var opprettet var det nødvendig å bestemme avhengighetene mellom dem. Metoden med skråstreksplanlegging bruker de tradisjonelle logiske aktivitetsavhengighetene, som er velkjente fra den aktivitetsbaserte metoden. De logiske avhengighetene viser på et grunnleggende nivå, hvordan aktivitetene forholder seg til



hverandre. Med skråstreksplanleggingens lokalitetsbaserte avhengigheter utvikles bruken av de logiske avhengighetene også til å omfatte aktivitetens lokaliteter. Opprettelsen av avhengigheter mellom aktivitetene ble gjort i nettverksvisningen i Vico Control(Figur 34).

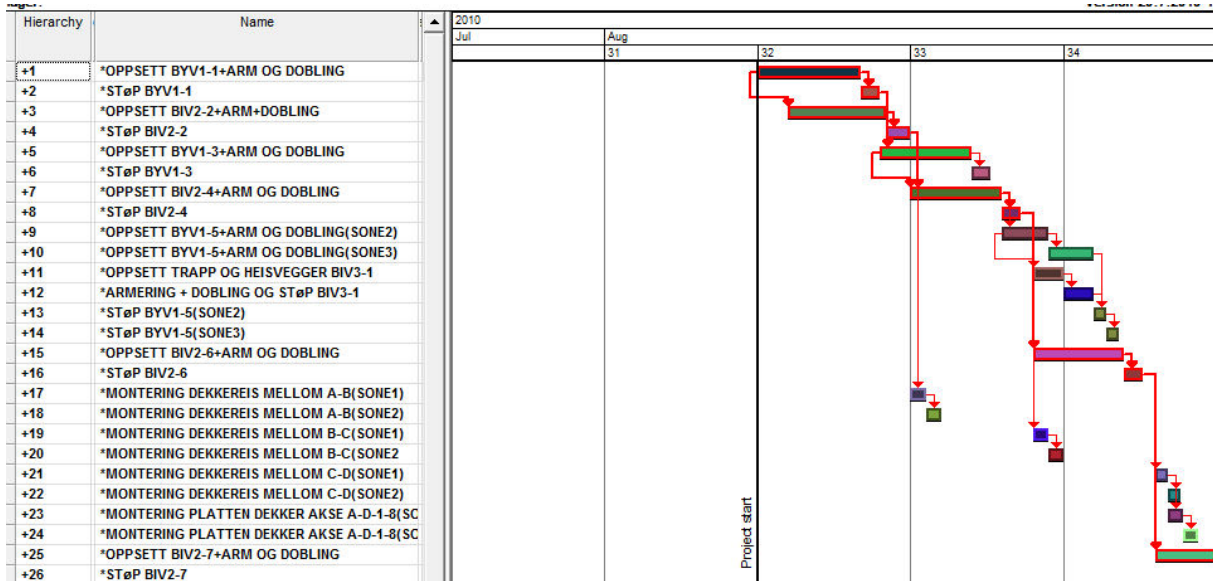


Figur 34: De logiske avhengighetene mellom ble utført i nettverksvisning (Kjetil Ramstad 2011).

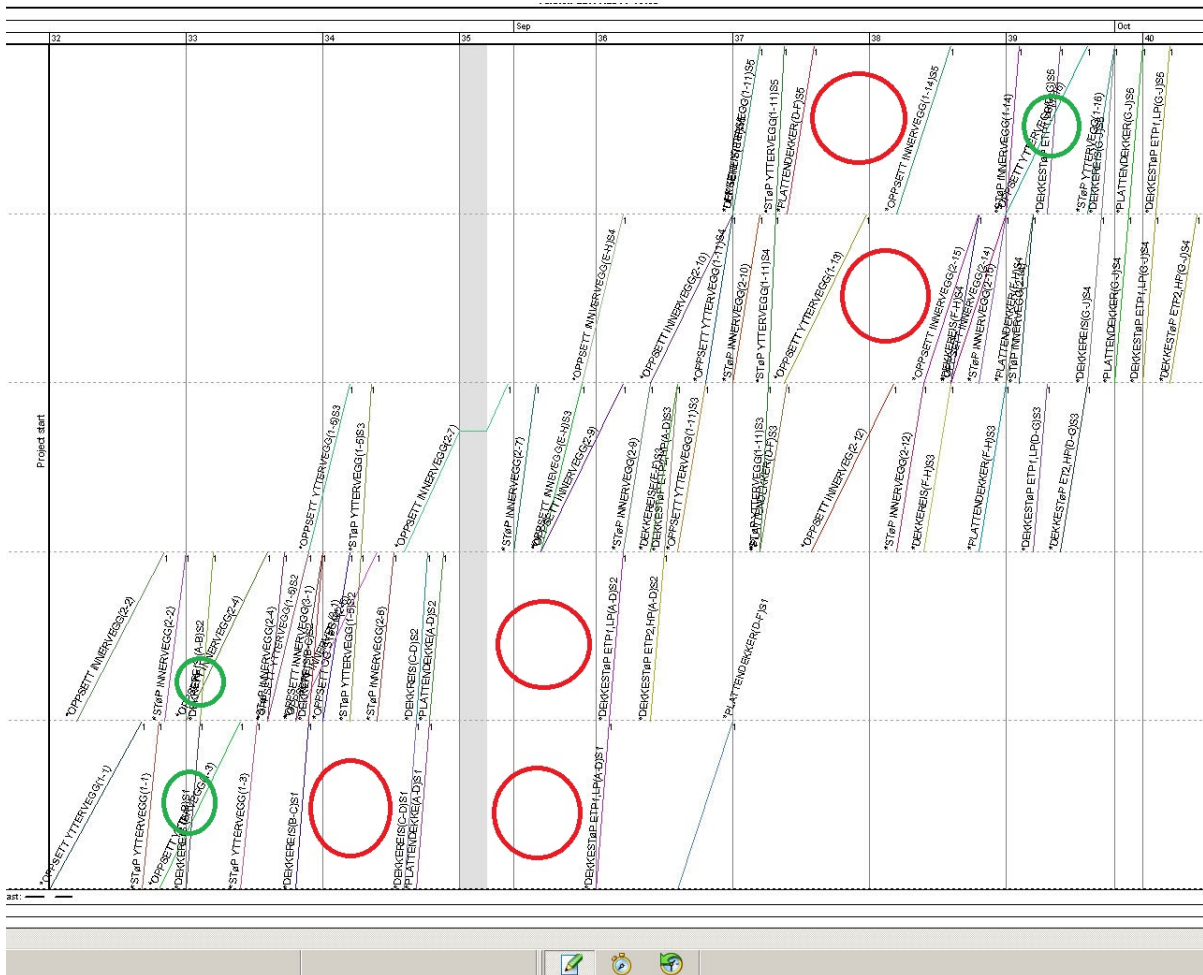
Fremdriftsplanen som ble laget i Vico Control ble laget som en kopi av den opprinnelige fremdriftsplanen som var utarbeidet av AF Bygg Oslo. Byggeledelsen i prosjektet på Grefsenkollen brukte aktivitetsbasert CPM fremdriftsplanleggingsmetode, hvor fremdriftsplanene var utviklet i MS Project og grafisk framstilt i et Gantt-diagram. I den opprinnelige fremdriftsplanen utarbeidet i MS Project var ikke aktivitetene tildelt ressurser, det vil si at arbeidskraft, byggematerialer eller maskiner/utstyr ikke lå inne i planen i MS Project.

I utarbeidelsen av kopien av fremdriftsplanen er de eksisterende varighetene for aktivitetene beholdt. Informasjon om produksjonsrater for de ulike aktivitetene i fremdriftsplanen og hvilke arbeidsressurser som skulle brukes var ikke tilgjengelig ut fra den opprinnelige fremdriftsplanen laget i MS Project. Produksjonsrater og arbeidsressurser ble derfor grovt antatt ut fra erfaring som forfatteren har fra tidligere tester på andre prosjekter.

# Modellbasert produksjonsplanlegging som metode for å støtte leveranse av plasstøpt betong.



Figur 35: Viser utdrag av fremdriftsplanen over underetasjen på Grefsenkollen som Gantt-diagram (Kjetil Ramstad 2011)



Figur 36: Viser utdrag av fremdriftsplanen over underetasjen på Grefsenkollen som "Flowline" visning (Kjetil Ramstad 2011).



Ved bruk av skråstreksplanlegging som metode tilføres altså prosjektets aktiviteter en geografisk lokalisering. På denne måten kan man identifisere, både hvor og når aktivitetene skal gjennomføres, dette gjøres i et "tid/sted-diagram", eller "Flowline" diagram, som er skråstreksplanleggingens grafiske fremstilling. På figur 36 vises "Flowline" diagrammet som er utarbeidet på prosjektet på Grefsenkollen. Aktivitetene i "flowline" diagrammet vises som skrå streker. Helningen på strekene viser arbeidsintensiteten, og strekene er knyttet til en lokalitet som viser hvor i prosjektet aktivitetene gjennomføres. Avstanden mellom aktivitetsstreke viser avstanden i både tid og lokalitet i prosjektet.

De røde sirklene på figur 36 indikerer steder hvor det er så kalte "lokalitetshull" i fremdriftsplanen, som vil si at det innenfor en tidsperiode ikke foregår noe arbeid på en lokalitet. De grønne sirklene viser aktiviteter som krysser hverandre, som betyr, at to aktiviteter er planlagt til å utføres på samme sted og på det samme tidspunktet.

### 5.2.5 Visualisering av tørketid for betong

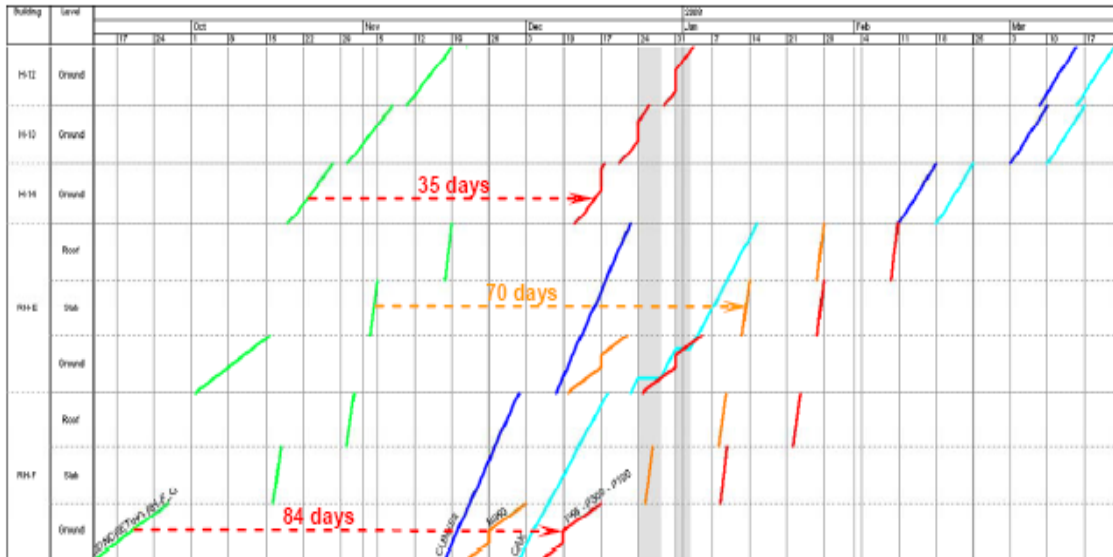
Det ble ikke gjennomført noen visualisering av tørketid for betong på prosjektet på Grefsenkollen, men det vil vises et eksempel på hvordan dette kan gjøres.

Det er viktig å vite når støpte gulv er ferdigstilt fordi dette er en kritisk aktivitet for etterfølgende fag. I forbindelse med støpte gulv er det også essensielt å legge inn tilstrekkelig tid til uttørking og kontrollmåling av fukt som et ledd i klargjøringen for gulvlegger (Kalsaas et al. 2010).

Før det legges gulvbelegg er det viktig at et nystøpt betonggulv får tilstrekkelig tid til å tørke siden det inneholder mye vann. Det tar relativt kort tid før betongen kan se tørr ut på overflaten, men det tar lang tid før den tørker i dybden. Det er viktig å vite hvor lang tid betongen må tørke før det er trykt å legge belegg (Inneklima.com 2004).

Uttørking av betong er avhengig av betongens tykkelse, betongkvalitet evt. luftinnblanding, temperatur og luftens relative luftfuktighet. Bruk av luftavfuktere kan være fordelaktig ved høy relativ luftfuktighet. Ut fra disse forholdene kan man beregne forventet tørketid (Inneklima.com 2004). For å estimere uttørkingstider har det vært vanlig å benytte tabeller hvor tørketiden kan estimeres ut fra kjennskap til v/c-tall, tykkelse av betong, tørkeklima osv. (Kvalvik et al. 2009).

Figur 37 viser hvordan man kan utføre en stedsbasert visualisering av uttørkingstidene for aktuelle betongkvaliteter med bruk av skråstreksplanlegging som planleggingsmetode. De grønne strekene viser aktivitetene for "støping av gulv", mens de røde strekene viser aktivitetene for "legging av gulvbelegg" (Norberg & Jongeling 2008).



Figur 37: Visualisering av tørketid for betong (Norberg & Jongeling 2008).

Hvis det i visualiseringen av tørketiden, viser seg at den er for lang i forhold til planlagt tidspunkt for legging av gulvbelegg nevner Jongeling fire mulige løsninger på problemet:

1. Forandre betongkvaliteten til en type med kortere uttørkingstider og gjøre en ny beregning. Dette vil påvirke produksjonskostnaden p.g.a. en dyrere betongkvalitet. (blant annet p.g.a. høyere innhold av sement og silikastøv).
2. Planlegge på nytt aktivitetene for legging av gulvbelegg. Dette vil ofte føre til en utsettelse av hele prosjektet som gjerne er dyrt.
3. Forandre eller ta i bruk flere metoder for å korte ned uttørkingstiden. Dette kan være å dekke til betongen etter den er støpt eller ta i bruk ulike typer utstyr for avfukting (kondensavfuktere, sorpsjonsavfuktere osv).
4. Planlegge på de aktivitetene som kan påvirke uttørkingstiden. Det kan for eksempel være å prøve bygge taket tidligere eller installere vinduer tidligere for å skape et innendørs klima som vil redusere uttørkingstiden (Norberg & Jongeling 2008).



## 6 Resultater

### 6.1 Forslag til IDM

#### 6.1.1 Forslag til IDM for fremdriftsplanlegging og leveranse av plasstøpt betong

I dette kapitlet presenteres det et forslag til IDM for planlegging og leveranse av plasstøpt betong. Forslaget bygger videre på prosessen som beskrives i kapittel 6, ved å ta i bruk den utbedrede modellbaserte planleggingsprosessen som er tidligere beskrevet i kapittel 2.3.2. Som beskrevet tidligere i rapporten inkluderer den nye prosessen mengdeuttak som grunnlag til å bestemme varighetene i fremdriftsplanen og en mulighet for å verifisere den foreløpige fremdriftsplanen under utarbeidelsen av fremdriftsplanen i en 4D-simulering, siden linkene mellom aktivitetene og DAK-objektene etableres parallelt med utarbeidelsen av fremdriftsplanen. Dette er en utvikling i forhold til hvordan 4D-simuleringvanligvis blir opprettet, hvor 3D-geometri og fremdriftsplanleggings informasjon eksporteres separat til et 4D-verktøy og må linkes manuelt.

#### 6.1.2 Oppbygning av IDM

Oppbygningen av IDM for planlegging og leveranse av plasstøpt betong til byggeplass består av tre hovedkomponenter. Disse komponentene er prosesskart (Process Map), utvekslingskrav (Exchange Requirement) og funksjonsdel (Functional Part).

**Prosesskart (Process Map)** – Er et kart over prosessen for planlegging og leveranse av plasstøpt betong til byggeplass.

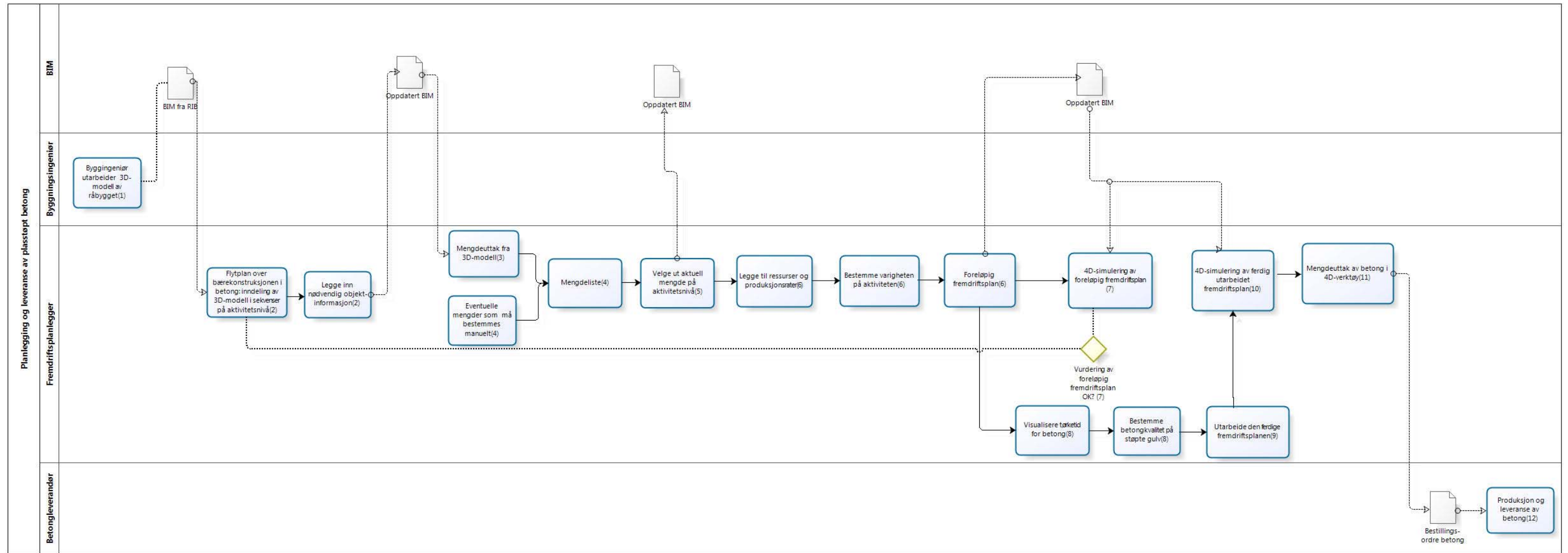
**Uttekslingskrav (Exchange Requirements)** – En ikke-teknisk beskrivelse av den informasjonen som må være tilgjengelig i BIM for å kunne gjennomføre en modellbasert prosess med fremdriftsplanlegging og leveranse av plasstøpt betong til byggeplass.

**Funksjonsdel (Functional Part)** – Et programmeringsspråk knyttet mot IFC skjema som beskriver de tekniske utvekslingskravene.

#### 6.1.3 Prosesskart for fremdriftsplanlegging og leveranse av betong

Kart som viser trinnene i planleggingsprosessen fra utarbeidelse av 3D modell frem til leveranse av plasstøpt betong. Kartet viser både relasjonen mellom trinnene samt hvor det tverrfaglige ansvaret til bygningsingeniør, fremdriftsplanlegger og betongleverandør er plassert spesifikt i forhold til trinnene i prosessen. Figur 38 viser kartet over prosessen, og under figuren følger en beskrivelse av trinnene i prosessen.





Figur 38: Prosesskart for planlegging og leveranse av plasstøpt betong



## Beskrivelse av prosesskart.

### **Delprosess1:**

Den første delen av prosessen er å lage en 3D-modell av det aktuelle bygget. 3D-modellen som skal brukes i prosessen kan være basert på en bygningsinformasjonsmodell som er laget i prosjekteringsfasen av prosjektet. En modell over kun råbygget (bærekonstruksjonen) vil egne seg bedre enn en arkitektmodell for denne prosessen. Kravene og reglene til hva som skal være tilgjengelig i bygningsinformasjonsmodellen når den overleveres fra de prosjekterende til entreprenør bør være definert i en BIM-manual.

### **Delprosess2:**

3D-modellen har ikke det nødvendige detaljnivået, elementene må derfor splittes opp slik at hver aktivitet kan knyttes til et element i 3D-modellen. Se også kapittel 5.2.2 om oppdeling av prosjekt i soner.

### **Delprosess3:**

Mengdeuttak fra 3D-modell. Se også kapittel 5.2.3 om mengdeuttak.

### **Delprosess4:**

Dersom 3D-modellen ikke er detaljert nok må noen mengder beregnes manuelt. Mengdelisten er en liste med mengdene til DAK-objektene fra 3D-modellen og de manuelt beregnede mengdene.

### **Delprosess5:**

Mengdene som er lagret i mengdelisten kan knyttes til en spesifikk aktivitet i fremdriftsplanen for å bestemme varigheten til aktiviteten. På denne måten blir det etablert en forbindelse mellom en aktivitet og et DAK-objektet. Forbindelsene mellom aktivitetene i fremdriftsplanen og DAK-objektene blir etablert gradvis under utarbeidelsen av fremdriftsplanen.

### **Delprosess6:**

Etter at mengden og aktivitet er knyttet sammen legges produktionsrate og tilgjengelige arbeidsressurser til aktiviteten for å bestemme varigheten. Også annen informasjon som er relevant legges til aktiviteten. Det kan for eksempel være informasjon om hvilken aktør som skal utføre oppgaven. Deretter opprettes de logiske avhengighetene mellom aktivitetene. Se også kapittel 5.2.4 om fremdriftsplanen.

### **Delprosess7:**

Under utarbeidelsen av fremdriftsplanen i en 4D-simulering kan den foreløpige fremdriftsplanen kan verifiseres kontinuerlig. Når det skal gjennomføres en 4D-simulering må datageometrien fra 3D-modellen, start- og sluttdatoer på aktivitetene fra



fremdriftsplanen og forbindelsene mellom aktivitetene og DAK-objektene eksporteres fra BIM.

**Delprosess8:**

Visualisering av tørketid for betong. Bestemme betongkvalitet på støpte gulv for å unngå skader og dårlig miljø på grunn av fukt i betong. Se også kapittel 5.2.5 om visualisering av tørketiden for betong.

**Delprosess9:**

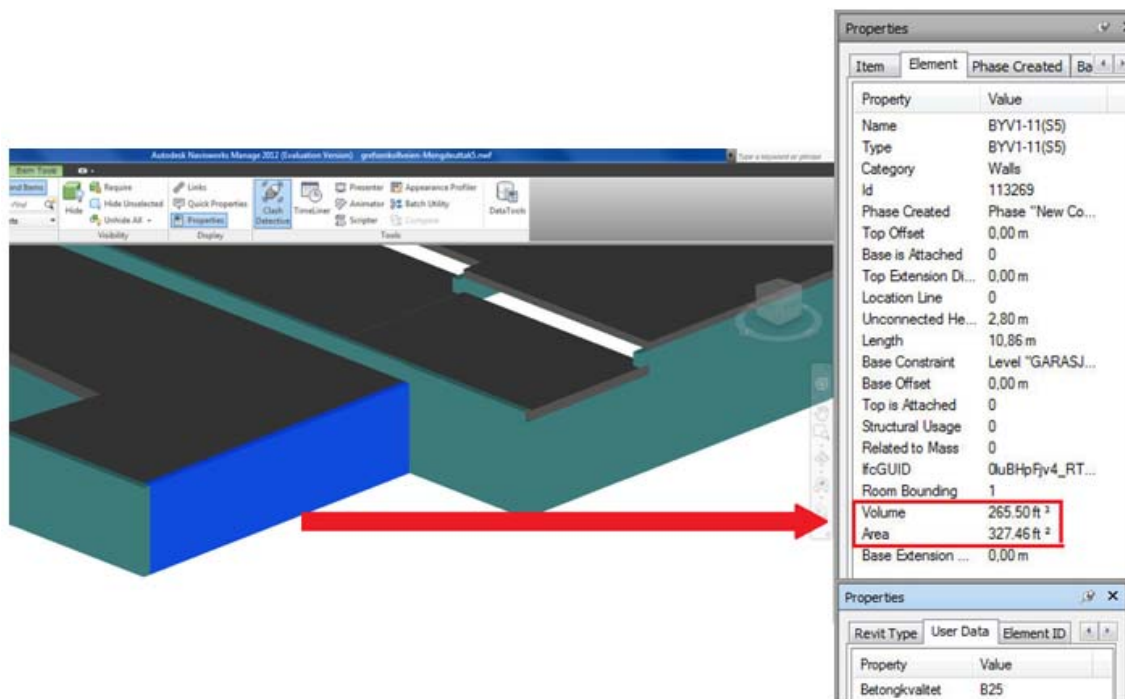
Utarbeide den ferdige fremdriftsplanen.

**Delprosess10:**

Foreta en 4D-simulering for å vurdere kvaliteten på fremdriftsplanen og flytplanen.

**Delprosess11:**

Foreta et mengdeuttak av betong for den aktuelle støpetappen i 4D-verktøyet. Informere betongleverandør om betongbehov for den aktuelle støpetappen og ønsket leveringstidspunkt.



Figur 39: Viser mengdeuttak av betong for aktuell støpetappe i 4D-verktøy (Kjetil Ramstad 2011)

**Delprosess12:**

Betongleverandør leverer riktig mengde og betongkvalitet til bestilt tidspunkt.



### 6.1.4 Utvekslingskrav og binding mot IFC-formatet

Tabellene som presenteres i dette kapitlet viser utvekslingskrav i forbindelse med modellbasert fremdriftsplanlegging og leveranse av betong, og hvordan disse standardiseres i det åpne filformatet IFC. Som nevnt tidligere i oppgaven er det gjort mye forskning i forhold til modellbasert fremdriftsplanlegging og binding mot IFC-formatet. Nylig ble det gjennomført et prosjekt med navn Inpro om dette temaet, som resulterte i et diskusjonsdokument (Weise et al. 2009a). Tabellene som presenteres i dette kapitlet er i stor grad bygget på tabeller fra det nevnte dokumentet, men er noe modifiserte.

Figuren 40 viser hvilke utvekslingskrav, og hvordan disse standardiseres i forhold til filformatet IFC, for å kunne utføre et mengdeuttak til fremdriftsplanen. Denne informasjonen er også input for eksport til 4D-simulering.

Arkitektonisk domene		
Utvekslingskrav		Funksjonsdel
Byggfaglig informasjon	Beskrivelse	IFC2x4 Standarden
Bygningsstrukturen - Byggetomt - Bygning - Bygningens etasjer - Rom - Bygningselementer	Typiske bestanddeler som en bygning (hierarkisk struktur) består av.	IfcProject, IfcSite, IfcBuilding, IfcBuildingStorey, IfcBuildingElement
Bygningselementer - Vegg - Dekke - Bjelke - Søyle	Alle fysiske elementer som er relevante for bygningen og mengdeuttaket til fremdriftsplanen.	IfcBuildingElement - ifcWall - ifcSlab - IfcBeam - IfcColumn
Splitting av elementer	Dekomponering av bygningselementer i henhold til fremdriftsplanen (fører til et hierarki av bygningselementer)	IfcRelNests
Element representasjon	Lokalitet og geometri til bygningselementer	IfcProduct.objectPlacement, IfcProduct. Representation
Elementegenskaper - Materialtype - Bredde - Høyde - Lengde - Bredde	Alle typer egenskaper eller mengder som beskriver bygningselementer, eksempelvis materialegenskaper, elementdimensjoner, volum, areal, osv.	IfcElementQuantity og IfcPropertySet - IfcMaterial - WidthIfcQuantityLength - HeightIfcQuantityLength - LengthIfcQuantityLength

Figur 40: Utvekslingskrav fra arkitektonisk domene standardisert mot filformatet IFC.



Figur 41 viser hvilke utvekslingskrav, og hvordan disse standardiseres i forhold til IFC for eksport fra fremdriftsplanen. Denne informasjonen er input fra fremdriftsplanen for gjennomføring av 4D-simulering.

Fremdriftsplanlegging		
Uttekslingskrav		Funksjonsdel
Byggfaglig informasjon	Beskrivelse	IFC2x4 Standarden
Aktivitet	Definering av de aktivitetene som nødvendig å utføre i oppføringen av en bygningskonstruksjon.	IfcTask
Fremdriftsplan	Logisk samling av aktiviteter/ arbeidsoppgave som er nødvendig for å fullføre en spesifikk jobb.	IfcWorkSchedule
Tidsbetingelser	Tidsrelatert informasjon om prosessene, eksempelvis start, slutt, varighet, osv.	IfcScheduleTimeControl
Logisk avhengighet mellom aktivitetene	Logiske avhengigheter definerer arbeidsflyten som beskriver eller begrenser byggeprosessen (Foregående /etterfølgende forbindelse i prosessen).	IfcRelSequence
Hierarkisk oppbygning av aktiviteter	Detaljering av arbeidsaktiviteter inn i underaktiviteter som muliggjør videreutvikling av fremdriftsplanen i dybden.	IfcRelNests
4D-visualiseringsparameter	De følgende grunnleggende parameterne trengs: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Varsel som indikerer om en arbeidsoppgave skal visualiseres eller ikke</li> <li>- Prosesstype (konstruere, midlertidig, rive, start_periode, middel_periode, slutt_periode)</li> <li>- Farge på element</li> <li>- Element gjennomsiktighet</li> <li>- I tillegg, er det mer sofistikerte parametere slik som: <ul style="list-style-type: none"> <li>- "skalering" (tidsavhengig</li> </ul> </li> </ul>	IfcReAssignsToProcess (link mellom prosesser og bygningselementer) <p>Basert på linken mellom prosessene og bygningselementene er det i tillegg informasjon som er tilgjengelig som kan være av interesse for 4D-simuleringer:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elementrepresentasjon (undergrupper av IfcPresentationStyle, tildelt til IfcGeometricRepresentationItem`'s via IfcPresentationStyleAssignment mellomliggende</li> </ul>



	voksende/fullføring av elementer) - Transportvei for elementer - Omkringliggende egenskaper (GIS data, bakgrunnsbilder, osv.)	IfcStyledItem eller en av undergruppene) - IfcScheduleTimeControl (planlagt og faktisk tidsbruk av prosessene). - IfcRelSquence (arbeidsflyt) - IfcPropertySet og IfcElementQuantity (individuelle utvidelser til aktiviteter, fremdriftsplaner og elementer)
Visualiseringsmaler/mønstre	Maler/mønstre som kan holde visualiseringsparametre og kan bli knyttet til prosesser.	Mulige løsninger avhenger av hvordan 4D-parameter beskrives.
Ansvarlig aktør og nødvendig ressurser	Informasjon som muliggjør beregning av varigheten for en aktivitet. Hovedaspekter er elementmengdene, men også brukt utstyr og menneskelige ressurser.	IfcResource

Figur 41: Utvekslingskrav for fremdriftsplanlegging standardisert mot filformatet IFC.

En del av prosessen innebærer at det lages linker mellom aktivitetene og bygningselementene under utarbeidelsen av fremdriftsplanen. Dette gjør det mulig å verifisere den foreløpige fremdriftsplanen i en 4D-simulering parallelt med opprettelsen av fremdriftsplanen. Figur 42 viser hvordan linking av aktiviteter og bygningselementer standardiseres i forhold til filformatet IFC.

Linker mellom domene		
Utvekslingskrav		Funksjonsdel
Byggfaglig informasjon	Beskrivelse	IFC2x4 Standarden
Kobling mellom aktiviteter og bygningselementer	Nødvendig for å kunne gjennomføre 4D-simulering	IfcRelAssignsToProcess

Figur 42: Utvekslingskrav for linker mellom domene standardisert mot filformatet IFC.

Det er altså nødvendig med informasjon fra alle tre tabellene for å kunne gjennomføre en 4D-simulering. Det trengs informasjon om bygningselementene i bygningen, aktivitetene i fremdriftsplanen og kobling av bygningselementene med aktivitetene.



## 7 Diskusjon

### 7.1 Innledning til diskusjon

Fremdriftsplaner blir typisk laget i programvarer som MS Project, der fremdriftsplanen fremstilles i Gantt-diagrammer. En fremdriftsplan for et stort prosjekt inneholder hundrevis eller tusenvis av individuelle aktiviteter. Planleggeren har til nå hatt få hjelpemidler under utarbeidelsen av fremdriftsplanen. De tilgjengelige hjelpemidlene har begrenset seg til 2D-tegninger, pen, papir og regnemaskin. Med grunnlag i 2D-tegninger og fremdriftsplanen har planleggeren måtte visualisere bygningen oppe i eget hode. Det er mange aspekter å ta hensyn ved utarbeidelsen av en fremdriftsplan. Dette kan være omfanget eller plassbehovet av et arbeid som skal utføres, plassbehov for midlertidig lagring av materiell, hvordan vanskelige detaljer skal utføres og hvordan man skal planlegge med størst mulig kontinuitet for å unngå stopp og forsinkelser. Det er mange faggrupper som skal utføre et arbeid på liten plass og det er essensielt at de har tilgang til den plassen som trengs for å utføre arbeidet sitt uforstyrret. Det er derfor viktig at det planlegges kontinuerlig slik at arbeidslag ikke kommer i konflikt med hverandre med den konsekvens at arbeidet utføres mindre produktivt eller at det stopper helt opp. Det er mye som skal tas hensyn til og det er ikke vanskelig å forestille seg at det å sette opp en fremdriftsplan for et stort byggeprosjekt er et meget komplekst prosjekt.

Et annet aspekt er hvordan fremdriftsplanen skal kommuniseres til andre prosjektdeltakere. Enten dette er til andre personer i byggeledelsen eller til de som skal utføre arbeidet. Den som utarbeider fremdriftsplanen er gjerne alene om å ha kunnskap om hva som er grunnlaget for varighetene av aktivitetene og hvorfor de er planlagt slik de er planlagt og hvorfor de må gjøres i den rekkefølgen. Informasjon om mengder, produksjonsrater og hvilken bemanning som skal brukes på aktivitetene er ofte ikke lagt inn i fremdriftsplanleggingsverktøyet. Planleggeren må derfor bruke mye tid på å kommunisere planen ved hjelp av 2D-tegninger og møter med de andre prosjektdeltakerne.

Beskrivelsen over viser at det er et behov for verktøy som kan være til hjelp for planleggeren i opprettelsen, verifiseringen og kommunikasjonen av fremdriftsplanen. På større prosjekter blir det mer vanlig at det er tilgjengelig 3D-modell fra flere av de forskjellige fagene, arkitekt, bygningsingeniør, elektro, VVS osv. Disse 3D-modellene kan importeres til et koordineringsverktøy hvor det er mulig å kjøre kollisjonskontroll for kartlegge konflikter og feil. En 3D-modell kan også brukes til å visualisere og kommunisere prosjektet. For å effektivisere kommunikasjonen på byggemøter kan 3D-modeller brukes til å vise problemområder visuelt istedenfor å måtte tolke 2D-tegninger. 3D-modeller kan i seg selv være et nyttig verktøy på byggeplasser for kommunisere og forstå prosjektet.



4D-modeller er modeller hvor 3-dimensjonale bygningskomponenter blir integrert med tid. Informasjon fra fremdriftsplanen blir koblet til 3D-modellen slik at det blir mulig å vise den planlagte statusen for en gitt dato.

Selv om forskning har vist at det er fordeler med bruken av 4D-modeller på prosjekter er det i liten grad tatt i bruk på virkelige prosjekter spesielt i produksjonsfasen. Dette har naturlig nok sammenheng med at bruken av BIM fortsatt er på et tidlig stadium så det tar tid før byggebransjen tar i bruk ny teknologi. Skanska som er en av de største entreprenørene i Norge, og en av dem som har kommet lengst i bruken av BIM, har enda ikke anvendt 4D-planlegging i produksjonsdelen av prosessen (Hanna 2011).

Et annet aspekt er om teknologien er kommet langt nok i forhold til 4D-modeller. Studier har vist at opprettelsen av 4D-modeller er en krevende og kompleks prosess, og arbeidet som trengs for å opprette 4D-modeller svarer seg ikke i forhold til arbeidet som blir nedlagt for å lage dem (Tulke & Haff 2008).

Den vanlige måten å opprette 4D-modeller på er at informasjon fra 3D-modelleringsprogrammet og informasjon fra fremdriftsplanleggingsverktøyet eksporteres separat til et 4D-simuleringsverktøy. Her opprettes det linker mellom bygningselementer og passende aktiviteter. Linking av bygningselementer og passende aktiviteter er et arbeid som gjøres manuelt.

Denne måten å opprette 4D-modeller støtter dårlig forandringer i 3D-modellen eller fremdriftsplanen. For hver gang det skjer forandringer må fremdriftsplanen justeres, objektene i 3D-modellen må tilpasses til forandringene, deretter må data eksporteres på nytt til programvare for 4D-simulering og aktiviteter og bygningselementer på links.

Hovedkritikkene mot bruk av 4D-planlegging har vært den høye innsatsen som trengs for å opprette 4D-simuleringer, spesielt arbeidet med inndelingen av bygningselementer som er nødvendig for å linke elementene mot aktivitetene i fremdriftsplanen. 4D-teknologiene takler dårlig forandringer underveis i prosjektet og utprøving av forskjellige byggeløsninger uten at hele prosessen med opprettelsen av 4D-simuleringen må startes på nytt igjen. Den vanlige måten å opprette 4D-simuleringer på støtter dårlig verifiseringer av foreløpige fremdriftsplaner (Weise et al. 2009a).

## 7.2 Muligheter og utfordringer med 4D-planleggingprosess

Det er en rekke utfordringer og muligheter ved å ta i bruk BIM på en effektiv måte. Som beskrevet i kapitlet om IDDS ligger ikke utfordringen i bare å ta i bruk ny teknologi. Når ny teknologi skal tas i bruk er det derfor nødvendig å se på alle de tre aspektene Teknologi – Prosess - Mennesker.

Dagens prosesser som er tilpasset en lineær dokumentbasert, og fragmentert arbeidsflyt må forandres. Dette betyr også at menneskene som er involvert i de nye prosessene kan få nye roller, oppgaver og ansvar. Dette vil kreve at personale må opprette et tettere samarbeid





både internt i bedriften, men det vil også bli behov for et tettere og mer åpent samarbeid mellom de ulike aktørene i byggeprosessen der målet er å oppnå et synkronisert digitalt samarbeid.

Det er et stort behov for å utdanne de menneskene som skal utvikle BIM-modeller og for administrasjon og kontroll av BIM systemet. Dette er en stor utfordring for en bransje som er presset på ressurser og tid. Dessuten kreves det betydelige investeringer i å utvikle prosedyrer, i programvare og databaser og ikke minst når det gjelder mennesker. Å utvikle riktige holdninger er kanskje den største utfordringen. Implementering av BIM krever en dedikasjon hos aktørene til innovasjon og forbedring. Det vil være en utfordring å frembringe gode BIM ingeniører.

Implementering av BIM er en organisatorisk og kulturell utfordring som krever en omlegging av firmaets tradisjonelle administrative struktur slik at denne støtter teamarbeid. På veien fra papirbaserte spesifikasjon og planer til digitale metoder stilles det krav til juridisk klarhet. Det grunnleggende BIM-prinsipp om samarbeid og gjensidighet bringer tilsynelatende inn uklarhet i forhold til den nåværende formen som er preget av klare avgrensninger om ansvar.

### 7.2.1 4D-planlegging

Prosesen som ble presentert i IDM`en kan løse noen av problemene ved opprettelsen av 4D-simuleringer. Den nye prosessen inneholder blant annet mengdeuttak fra 3D-modell for å effektivisere arbeidet med opprettelsen av en fremdriftsplan. Bruken av nøyaktig mengder og realistiske produksjonsrater i utarbeidelsen av produksjonsplanen er essensielt i forhold til å bestemme riktige varigheter for aktivitetene. Varighetene på aktivitetene er en funksjon av mengder og produksjonsrater. Når nøyaktig mengder og produksjonsrater ligger til grunn for kalkulering av varighetene er det sannsynlig at det er lettere å ha en diskusjon og analyse rundt forventet varighet på aktivitetene i fremdriftsplanen, enn om varighetene på aktivitetene i fremdriftsplanen er bestemt ved et intuitivt overslag. Diskusjon og analyse om hva som ligger bak forventet varighet på aktivitetene kan bidra til å øke bevisstgjøringen mot å jobbe smart og mer effektivt.

En del av den foreslåtte prosessen med 4D-planlegging innebærer at det opprettes linker mellom bygningselementene og aktivitetene gradvis under utarbeidelse av fremdriftsplanen. Når det utføres et mengdeuttak av 3D-modellen opprettes det en mengdeliste som viser mengder knyttet til bygningselementer. Forbindelsen mellom bygningselementene og aktivitetene dannes når man velger en mengde fra mengdelisten i fremdriftsplanleggingsverktøyet for å kalkulere varigheten av en aktivitet.

Siden linkene mellom bygningselementene og aktivitetene etableres gradvis under utarbeidelsen av fremdriftsplanen kan den foreløpige fremdriftsplanen når som helst verifiseres i en 4D-simulering. Forandringer i 3D-modellen eller fremdriftsplanen vil raskt



oppdateres i 4D-modellen. Dette gir fremdriftsplanleggeren et nyttig verktøy som kan brukes for å verifisere fremdriftsplanen når som helst under utarbeidelsen av fremdriftsplanen. Dette gir også mulighet for raskt å analysere ulike alternative fremdriftsplaner for å teste gjennomførbarheten av disse i en 4D-simulering. Dette er en betydelig forbedring i prosessen med opprettelse av 4D-simulering i forhold til begrensningene som er i dagens 4D-teknologier.

4D-simuleringer har potensial til å være et nyttig verktøy for byggeledelsen i produksjonsfasen av et prosjekt. Feil i fremdriftsplanen kan identifiseres visuelt på en måte som ikke er mulig med Gantt-diagrammer. Det finnes en rekke anvendelsesområder for 4D-modeller. Det kan gjøres evalueringer og simuleringer i forhold til ressursplanlegging. 4D-modeller kan brukes til å vise hvilken entreprenør som utfører en spesiell oppgave, hvilket arbeidslag som skal utføre en aktivitet, skille mellom forskjellige typer oppgaver og hvor mye ressurser som er involvert. På denne måten kan 4D-modellen brukes til styring av arbeidsressurser. Det kan videre gjøres analyser på plassbehov og omfang av ulike typer arbeider. Dette kan være viktig for sikre at ulike arbeidsoppgaver ikke kommer i konflikt, noe som kan føre til at arbeidet blir forsinket eller stopper helt opp. Analysene kan være med på minimere konflikter mellom ulike faggrupper og arbeidslag.

4D-modeller kan brukes til å optimalisere riggplaner, planlegge plassering av anleggsutstyr og kraner. Fremdriftsplanleggeren kan også ha nytte av verktøyet til å forbedre logistikken på byggeplassen. Adkomstruter, oppbevaring av materialer og parkeringsarealer kan bli planlagt ved bruk av 4D-modellen.

### 7.2.2 Detaljnivå på BIM

En del av den nye prosessen med 4D-planlegging innebærer å ta i bruk BIMen til å hente ut mengdene som skal brukes til å bestemme aktivitetene i fremdriftsplanen. Da er det grunnleggende sett tre informasjonskomponenter som ligger til grunn for en 4D-planleggingsprosess. Disse komponentene er 3D-modellen, mengdelisten, og fremdriftsplanen. Disse komponentene lages ikke i en bestemt rekkefølge eller av de samme aktørene noe som fører til en del utfordringer.

Først utarbeider arkitekten eller byggingeniøren(modell over bærekonstruksjonen) en 3D-modell hvor kravet til inndelingen av objektene i modellen bestemmes av hva som er mest effektivt med hensyn til å få opp en modell som visualiserer prosjektet raskest mulig. Det er ikke slik at entreprenøren kan bare overta arkitektmodellen eller RIB-modellen å bruke de direkte til mengdeuttak til kalkulasjon, fremdriftsplanlegging og til 4D-simulering. Det trengs ofte mye bearbeiding av modellene før entreprenøren kan ha noen nytte av dem.

En 3D-modell som er laget av et arkitektfirma er som oftest bare en visuell representasjon av prosjektet. Bruken av en slik modell er begrenset til kollisjonstesting, visualisering, og til en



visuell planlegging av prosjektet, fordi modellen ikke inneholder atskilte BIM-komponenter som kan brukes i et mengdeuttak til kalkulasjon eller fremdriftsplan.

Tulke hevder i sin rapport "Decomposition of BIM objects for scheduling and 4D simulation" at det trengs en rekke iterasjonssykluser i utarbeidelsen av 3D-modellen og en omfattende kommunikasjon mellom de tre forskjellige aktørene (arkitekt, kalkulator og fremdriftsplanlegger) for å oppnå et detalj- og informasjonsnivå i 3D-modellen som er forenlig med de tre forskjellige formålene. Kommunikasjonen knyttet til dette tar mye tid og ressurser, og krever at mye informasjon sendes frem og tilbake mellom aktørene som ikke kjenner hverandres interne arbeidsrutiner (Tulke 2008). Som et resultat av dette, er gjenbruk av informasjon og overtakelse av andres arbeid i forbindelse med 3D-modellen vanskelig å oppnå i prosessen med utarbeidelse av fremdriftsplanen. Dette er forenlig med de erfaringene som forfatteren har gjort seg under arbeidet med denne rapporten.

For at fremdriftsplanleggeren skal kunne bruke mengder fra 3D-modellen til å bestemme varigheten av aktivitetene i fremdriftsplanen og for å kunne lage en realistisk 4D-simulering må inndelingen av objektene i 3D-modellen være forenlig med oppgaven den skal brukes til. Fremdriftsplanleggeren er avhengig av at mengdene som tas ut av 3D-modellen er på aktivitetsnivå. I tillegg må fremdriftsplanleggerne kunne kjenne igjen mengdene når han/hun velger en mengde, i fremdriftsplanleggingsverktøyet, for å beregne varigheten av en aktivitet. Mengdene som kalkulatøren har hentet fra 3D-modellen for å kalkulere kostnaden på prosjektet er ikke på aktivitetsnivå og kan derfor ikke brukes direkte. Før det kan gjennomføres et mengdeuttak til å bestemme varighetene for aktivitetene i fremdriftsplanen er det derfor et behov for å dele inn 3D-modellen inn i sekvenser eller etapper som er forenlig med aktivitetene i fremdriftsplanen. En utfordring som da blir aktuell for fremdriftsplanleggeren er hvordan man deler opp ulike elementer, som vegger, tak, dekker, osv. som arkitekten eller ingeniøren har modellert som et enkelt element, men som planleggeren vil dele opp i etapper. For eksempel, hvis et betongdekke blir støpt i 3 etapper, så må betongdekke bli delt opp i 3 deler slik at disse sekvensene kan bli planlagt og visualisert.

En mulighet er at inndelingen av modellen utføres i et 3D-modelleringsprogram. Skanska har brukt denne metoden når de har hatt behov for å dele inn objektene i modellen mer detaljert enn modellen var i utgangspunktet. De har da importert IFC-filer til ArchiCad, selv om modellene er laget i andre programmer som Revit og Tekla Structures, fordi splitteverktøyet i ArchiCad har vist seg å ha den beste funksjonaliteten (Hanna 2011). En utfordring i forhold til denne metoden er at et 3D-modelleringsprogram kan være komplekst å ta i bruk for en fremdriftsplanlegger. Dette betyr at denne jobben må utføres av BIM-spesialister. Dette gjør det vanskelig for fremdriftsplanleggeren å utforske alternative fremdriftsplaner siden han selv ikke har mulighet for å justere detaljnivået på modellen. For å løse dette problemet trenger fremdriftsplanleggeren et verktøy som gjør det mulig og enkelt justere detaljnivået. Dette kunne vært en integrert funksjonalitet i



fremdriftsplanleggingsverktøyet eller 4D-verktøy. Så vidt forfatteren bekjent finnes ikke denne funksjonaliteten i eksisterende fremdriftsplanleggingsverktøy eller 4D-verktøy.

En annen utfordring i forhold til justering av detaljnivået på 3D-modellen er versjonshåndtering. De andre aktørene i byggeprosjektet ønsker å jobbe med det originale detaljnivået på 3D-modellen. Det er derfor ønskelig med en funksjonalitet som gjør det mulig for fremdriftsplanleggeren å justere detaljnivået uten å forstyrre andre aktørers arbeidsmetoder.

### 7.2.3 Skråstreksplanlegging

I skråstreksplanlegging vises alle de forskjellige aktivitetene med både en tidsakse og en romakse(steder). Det bestemmes altså både når og hvor aktivitetene skal gjennomføres. Flowline-diagram er mer visuelt enn Gantt-diagram ved å ta hensyn til både tidsaspektet og det romlige aspektet. Dette gir forbedrede muligheter for å få en oversikt over prosjektforløpet og for å se hvordan aktivitetene gjentas i forskjellige omfang på forskjellige deler av prosjektet.

Måten aktivitetene vises på i Flowline-diagrammet gjør det lettere å forstå i forhold til Gantt-diagrammer. Dette kan gjøre det til et mer effektivt verktøy i kommunikasjonen med underentreprenørene. Flowline-diagrammer kan brukes på byggemøter for å kommunisere og visualisere fremdriftsplan fra ledelsesnivået ned til arbeidsfolkene på byggeplass. Siden fremdriftsplanen blir enklere å forstå kan dette føre til nyttige diskusjoner og analyser fra arbeidsfolkene. Trolig kan en større forståelse av fremdriftsplanen øke bevisstgjøringen rundt hvordan det er mulig å planlegge mer effektivt.

Flowline-diagrammet gir forbedrede muligheter for å oppdage aktiviteter som er planlagt på samme sted og samme tidspunkt. Jobber flere forskjellige arbeidslag i samme lokalitet, vil arbeidet bli forsinket eller stoppe helt opp. Konsekvensen av et stopp i arbeidet kan være at et arbeidslag må forlate byggeplassen for en periode fordi det ikke finnes arbeid de kan utføre. Når arbeidet skal utføres er det ikke sikkert at den aktuelle entreprenøren har ledig kapasitet, som igjen kan føre til forsinkelser i fremdriftsplanen. Det er heller ikke sikkert at entreprenøren har mulighet til å sende det samme arbeidslaget tilbake på byggeplassen, noe som betyr at prosjektet må kommuniseres på nytt. Dette er uheldig både på grunn av tidsbruken det tar å kommunisere prosjektet på nytt og det kan føre til et dårligere utført arbeid fordi de har mindre kjennskap til prosjektet.

Ved skråstreksplanlegging som metode er det forbedrede muligheter for å planlegge kontinuerlig på prosjektet. Det er enkelt å balansere aktivitetene i forhold til hverandre slik at de ikke kommer i konflikt eller at noen står uten arbeid for en periode fordi de er avhengig av at annet arbeid er ferdig før de kan gå videre med sitt eget.



## 8 Konklusjon

Planleggeren har til nå hatt få hjelpemidler under utarbeidelsen av fremdriftsplanen. De tilgjengelige hjelpemidlene har begrenset seg til 2D-tegninger, pen, papir og regnemaskin. Det er derfor behov for ny teknologi for å forbedre og effektivisere denne prosessen. Det blir mer og mer vanlig at det er tilgjengelig 3D-modeller for større byggeprosjekter. Ved å integrere de 3-dimensjonale bygningskomponentene med tid oppnår man en 4D modell. 4D-modeller kan brukes som et nyttig verktøy for produksjonsledelsen i planleggingsfasen av et prosjekt. Disse modellene gjør det mulig visuelt å identifisere feil i fremdriftsplanen, noe som ikke er mulig ved bruk av Gantt-diagrammer.

Planleggeren kan ha nytte av 4D-modeller i opprettelsen, verifisering og kommunikasjonen av fremdriftsplanen. Forskning har vist at det er en rekke muligheter ved å ta i bruk 4D-modeller i planleggingsprosessen, men på tross av dette er det i liten grad tatt i bruk som et planleggingsverktøy i produksjonsfasen av et byggeprosjekt. Et hovedproblem er hvordan 4D-modeller blir opprettet. Teknologien som er tilgjengelig i dag har begrensinger. Linking av bygningselementer og aktiviteter er et arbeid som gjøres manuelt etter at informasjon fra 3D modellen og planleggingsverktøyet separat er eksportert til et 4D-simuleringsverktøy. Problemet med denne teknologien er at den dårlig støtter endringer underveis i prosjektet ved utprøving av ulike byggeløsninger. Årsaken til dette er den kompliserte prosessen med å oppdatere 4D-modellen etter at det er gjort endringer 3D-modellen eller fremdriftsplanen.

Med grunnlag i forskning og praktisk testing av programvare er det i rapporten utviklet en IDM for en 4D-planleggingsprosess. Ved å ta i bruk kunnskap fra tidligere forskningsstudier på tema har det vært fokus på å lage en IDM som løser noen av hovedkritikkene som er rettet i mot dagens 4D-teknologi.

Det nye forslaget til prosessen inkluderer mengdeuttak som grunnlag for å bestemme varigheten til aktiviteter i fremdriftsplanen. Mengdeuttak fra 3D-modell er en metode som kan effektivisere og kvalitetssikre arbeidet med opprettelsen av en fremdriftsplan. En sentral del av den foreslåtte planleggingsprosessen innebærer at linker mellom bygningselementene og aktivitetene gradvis etableres under utarbeidelsen av fremdriftsplanen. Dette gjør det mulig å når som helst verifisere den foreløpige fremdriftsplanen i en 4D-simulering under utarbeidelsen av fremdriftsplanen. Forandringer i 3D-modellen eller fremdriftsplanen vil raskt opptatteres i 4D-modellen. Noe som gir mulighet for raskt å analysere ulike alternative fremdriftsplaner for å teste gjennomførbareheten av disse i en 4D-simulering. Dette er en betydelig forbedring i prosessen med opprettelse av 4D-simulering i forhold til begrensningene som er i dagens 4D-teknologier.



## 9 Litteraturliste

- Andersson, N. & Christensen, K. (2007). Location-based Scheduling Vurdering af LBS-metodens anvendelse i byggeprojekter.
- buildingSMART. (2008). Vi bygger smartere. Tilgjengelig fra:  
[http://coreweb.nhosp.no/buildingsmart.no/html/files/BuildingSmart\\_lowres\\_NEW.pdf](http://coreweb.nhosp.no/buildingsmart.no/html/files/BuildingSmart_lowres_NEW.pdf)
- CIB. (2009a). *CIB White Paper on IDDS: International Council for Research and Innovation in Building and Construction*. Tilgjengelig fra:  
[http://heyblom.websites.xs4all.nl/website/priority\\_themes/CIB\\_IDDS\\_White\\_Paper.pdf](http://heyblom.websites.xs4all.nl/website/priority_themes/CIB_IDDS_White_Paper.pdf).
- Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R. & Liston, K. (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.
- Froese, T. M. & YU, K. Q. (1999). Industry foundation class modeling for estimating and scheduling. s11.
- Gould, F. E. (2002). *Managing the construction process: estimating, scheduling, and project control*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall. XIV, 393 s. s.
- Hanna, R. (2011). Personlig meddelelse: Skanska,Oslo(15.04.11).
- Hardin, B. (2009). *BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows*. Indianapolis, Ind.: Wiley. XX, 340 s. s.
- Inneklima.com. (2004). *Fukt i betonggulv*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.inneklima.com/index.asp?document=62&context=>.
- Kalsaas, B. T., Skaar, J. & Thorstensen, R. T. (2010). System og resultater fra utprøving av planleggingmetoden "Last Planner" (Lean Construction) på Havlimyra oppvekstsenter i Kristiansand kommune. .
- Kenley, R. & Seppanen, O. (2009). Location-based management of construction projects: Part of a new typology for project scheduling methodologies. 8 s.
- Kenley, R. & Seppanen, O. (2010). *Location-based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control*. Spon Press. 584 s.
- Kvalvik, M., Geving, S., Lindegård, J. & Skjølvold, O. (2009). Uttøringshastighet for betonggulv. s36.
- Kymmell, W. (2008). *Building information modeling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations*. New York: McGraw-Hill. XIV, 270 s., pl. s.
- Miller, R., Strombom, D., Iammarino, M. & Black, B. (2009). *The commercial real estate revolution*. 308 s.
- Moen, S. E. & Moland, E. M. (2010). BygningsInformasjonsModelling (BIM) En studie av utfordringer med å implementere BIM i Statsbygg og Skanska. s55.



Norberg, H. & Jongeling, R. (2008). A model-based production planning and control method supporting delivery of cast-in-place concrete. 10s.

SINTEF. (2005). *Interoperabilitet*.

Tulke, J. (2008). Decomposition of BIM objects for scheduling and 4D simulation. s 8.

Tulke, J. & Haff, J. (2008). 4D Construction sequence planning - new process and data model. s.6.

Weise, M., Liebich, T., Tulke, J. & Bonsma, P. (2009a). Discussion Paper IFC support for model-based scheduling. s54.

Weise, M., Liebich, T., Tulke, J. & Bonsma, P. (2009b). IFC Support for Model-based Scheduling. 8s.

Wikipedia. (2011). *Industry Foundation Classes*.



## 10 Vedlegg

### 10.1 Vedlegg – Fellesspørsmål om organisasjonen hos AF Bygg Oslo

Spørsmål stilt på møte hos AF Bygg Oslo 13. april 2010

1. Når kommer AF Gruppen inn i byggeprosessen (Hvilke entrepriserformer er mest vanlig)
  - Totalentreprise er den mest vanlig
2. Hvor langt har AF Gruppen kommet i bruken av BIM
  - Begynte å ta i bruk BIM i kalkulasjonsavdelingen i begynnelsen på 2010
  - Gjennomfører en test av kollisjonskontroll på et prosjekt (Grefsenkollen) våren 2010.

#### **Spørsmål: Entreprise og byggefaser**

1. Hvilken entrepriserform er den mest vanlige på deres prosjekter?
2. Hvor tidlig tar dere del i byggeprosessen og på hvilken måte påvirker dere prosjektet i denne fasen? I hvilken grad påvirker AF Gruppen prosjekteringen?
3. Har man vurdert nye innkjøpsmodeller?

#### **Informasjonsflyt**

4. Er alle prosjekter av typen Design-bid-build? Eller er det vanlig med prosjekter med en modell som er mer lik Design-build (forklaringsfigur etter spørsmålene).
5. Hvordan deles informasjon internt og eksternt?
  - a. Har dere et godt arkiv system med mulighet for sporbarhet slik at man, i etterkant, kan se hva som har vært grunnlaget for en beslutning.
6. Har kontinuiteten av ansatte noe å si for prosessene?
  - a. Er det slik at de gamle ansatte "vet" alt og gjør sine arbeidsoppgaver slik de alltid har gjort det og stagnerer for sånn har de alltid gjort det. Mens nyansatte ser forbedringer/nye muligheter, men har ingen "oppskrift"/system/helhet å plassere sine ideer for nye prosesser inn i?
7. Mengdeuttak, er det sånn at det mengdes på byggeplass av anleggsleder og eller de som planlegger fremdriften? Hvis det mengdes her også, hvorfor kan ikke disse mengdene komme fra kalkulator via BIM eller rett fra BIM?
  - a. Hvor mange ganger mengdes det i AF i løpet av et prosjekt?
  - b. Er det samarbeid mellom avdelinger på mengdeuttak uavhengig av BIM?
8. Hvordan er samarbeidet på tvers av fag og disipliner? Er man bare fokusert på "sitt eget felt" eller ser man mer helhetlig på prosessen og tenker på at det "jeg" gjør skal være best mulig grunnlag for videre arbeid med andre?
9. I hvilken grad oppmuntrer organisasjonen til å tenke helhetlig på prosjektet?
10. Samles det inn erfaringer når et prosjekt er ferdig? I så fall hva og hvordan?





### **Fremdriftsplanlegging av byggingen**

11. Hvilke programmer brukes?
12. Hvor lang tid settes av til planlegging på forhånd
13. Blir planen fulgt?
  - a. Hvis planen følges, men det er avvik, lages ny plan? Eller samler man opp til slutt og tar alle problemene da?

### **10.2 Vedlegg – Spørsmål om fremdriftsplanleggingen på byggeplass**

Spørsmål stilt på møte på Rikshospitalet i Oslo 21.april 2010

1. Hvordan planlegger dere?
  - a. Hva slags nivå av planer bruker dere?
  - b. Kan planene spores?
2. Hvilke programmer brukes?
3. Hvordan følger dere opp underentreprenører?
  - a. Hvordan kommuniseres planene til underentreprenørene?
4. De mengdene dere bruker i planene, hvordan får dere disse?
5. Hvordan kvalitetsjekkes mengdene?
6. Tror du BIM kan hjelpe deg i hverdagen?
  - a. I så fall hvordan?
7. Tror du håndverkerne en gang i fremtiden vil kunne på tegninger presentert i 3D på lomme PC?

### **10.3 Vedlegg – Spørsmål om 4D-planlegging**

Spørsmål stilt på møte hos Skanska i Oslo 15.april 2011.

1. På hvilken måte har dere nytte av 4D-planlegging, og hvor i byggeprosessen er det dere har hatt størst nytte av den til nå?
2. ARK-modell og RIB-modell er gjerne tegnet etter at detaljnivå på modellen bestemmes av effektiviteten når modellen lages. Entreprenøren har gjerne et behov for et høyere detaljnivå for å kunne bruke modellen til 4D-planlegging. For eksempel kan det være et ønske splitte ulike elementer i modellen, som vegger, tak, dekker osv., som ARK og RIB har tegnet som et element. Hvordan løses denne utfordringen?
3. Hvilket detaljnivå har vært hensiktsmessig å ha i de 4D-modellene dere har produsert til nå? (Eventuelt oppfølging spørsmål: Ser dere et potensial i å ha et høyere detaljnivå på 4D-modellene enn det dere har hatt til nå?)
4. Har dere brukt 3D-modellen til å hente ut mengder for å bestemme varigheten av aktiviteter i fremdriftsplanen? Hvilket potensial tror dere at dette har? Eventuelt hva mangler eller hvilke utfordringer må løses først for at dette skal kunne være nyttig/hensiktsmessig?