



Universitetet  
i Stavanger

**DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET**

**MASTEROPPGAVE**

Studieprogram/spesialisering:  Konstruksjoner og Materialer /Byggkonstruksjoner	Vårsemesteret, 2018  Åpen / <del>Konfidensiell</del>
Forfatter: Marius Ramselien	<u>Marius Ramselien</u> ..... (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Rolv Arnstein Øvrelid  Veileder: Morten Abrahamsen (Multiconsult)	
Tittel på masteroppgaven: Implementering av VDC og 4D BIM i prosjektgjennomføring  Engelsk tittel: Implementing VDC and 4D BIM in project delivery	
Studiepoeng: 30	
Emneord:  VDC, 4D BIM, BIM, Lean Construction, Synchro Pro	Sidetall: .....80.....  + vedlegg/annet: ...18.....  Stavanger, ...30-5/18..... dato/år



## **Forord**

Masteroppgaven er utviklet som en konkluderende prosjektoppgave i det 2-årige masterstudiet Konstruksjoner og materialer ved Universitetet i Stavanger. Oppgaven utføres i løpet av vårsemesteret 2018 og tilsvarer 30 studiepoeng.

Oppgaven er utarbeidet i samarbeid med Multiconsult, hvor Morten Abrahamsen har stilt som veileder. Oppgavens hensikt er å belyse begrepene Virtual Design and Construction og 4D BIM, samt undersøke erfaringer og muligheter ved implementering i byggeprosjekter. Morten har vært flink til å inkludere meg i byggeprosjektet som undersøkes ved deltakende observasjon, og har formidlet mye informasjon tilknyttet dette. Jeg vil benytte muligheten for å takke han for bidraget, og samtidig takke min interne sensor fra UiS, Rolv Arnstein Øvrelid for hjelp med rapportstrukturering. Jeg vil også takke samtlige intervjukandidater, som har bidratt til mye god kunnskap og erfaringer. Til slutt vil jeg takke studenter og ansatte ved UiS, som har gitt meg en uvurderlig studietid de siste to årene.



## SAMMENDRAG

Som en direkte respons til byggebransjens produktivitetsnedgang de siste årene, har bransjen startet å benytte 3-Dimensjonale bygningsinformasjonsmodeller (BIM) og innovative utførelsesstrategier som Virtual Design and Construction (VDC). VDC anses som et samlebegrep for en rekke eksisterende metoder og verktøy, som har som formål å øke produktiviteten og verdiskapning i byggeprosjekter gjennom en mer systematisert prosjektgjennomføring. 4D BIM er det neste steget innen virtuelle bygningsmodeller, og tilfører tid i form av fremdrift som en ny dimensjon i 3D-modellen.

I denne masteroppgaven undersøkes terminologiene VDC og 4D BIM, og hvordan disse kan bidra til en forbedret prosjektgjennomføring. For å tilstrekkelig belyse problemstillingen og underliggende forskerspørsmål, har det blitt benyttet en rekke ulike metoder for innhenting av data som; litteraturstudie, intervju, casestudier og deltakende observasjon. Litteraturstudiet anvendes for å sikre et teoretisk grunnlag som utleder de ulike begreper og skaper en oversiktlig forståelse for emnene. Intervju brukes til å sikre et innblikk i bransjens ulike holdninger og tolkninger av begrepene, samt hvordan disse anvendes i praksis. Casestudier brukes for å tilegne kvantifiserbare data som beskriver effekten av 4D BIM på prosjektgjennomføringen, samt validere eventuelle erfaringer og antakelser uttrykt av intervjuobjekter. Deltakende observasjon benyttes for å analysere et pågående prosjekts planleggingsprosess og bruk av VDC. Det vil også forsøkes å kartlegge et moderne 4D-programvares brukervennlighet, og evaluere hvor teknisk krevende det er å produsere en fungerende og praktisk modell som kan brukes til reell prosjektplanlegging.

Blant de ulike studiene utført i oppgaven har alle vist positive tendenser ved implementering av både VDC og 4D BIM. Byggebransjen oppleves hovedsakelig som optimistisk til en mer systematisert og digitalisert utførelsesstrategi som VDC. Aktører som benytter seg av denne strategien har stor fortrolighet til effekten ved implementering, og påstår at VDC bidrar til en generelt forbedret prosjektgjennomføring innebærende; bedre planlegging og utførelse, samt redusert tidsbruk, pengebruk og tid brukt til omprosjektering. 4D BIM har enda ikke blitt anvendt i stor grad i bransjen, som fortsatt streber etter et allment samtykke for bruk av 3D BIM, men de aktører som har benyttet 4D BIM har vist stor optimisme og entusiasme for implementering i byggeprosjekter. Casestudiene utført i oppgaven, støtter også denne optimismen, som viser en konsekvent effektivisering av byggeprosesser ved bruk av 4D BIM som planleggingsverktøy. Undertegnede personlige erfaringer med 4D BIM og programvare har også bevist at programvaren er svært brukervennlig og anvendelig, selv for personer med lite teknisk erfaring.

## FAGBEGREPSLISTE

Forkortelse	Begrep
BIM	Bygningsinformasjons-modell/ modellering
CAD	Computer Aided Design
3D	3-Dimensjonal
4D	4-Dimensjonal
WBS	Work Breakdown Structure
CPM	Critical Path Method
VDC	Virtual Design and Construction
LPS	The Last Planner System
LPDS	Lean Project Delivery System
ICE	Integrated Concurrent Engineering
POP	Product-Organization-Process

TABELL 1: LISTE OVER RELEVANTE FAGBEGREP

## FIGURLISTE

FIGUR 1: BYGGEBRANSJENS PRODUKTIVITETSNEDGANG SAMMENLIGNET MED ANDRE INDUSTRIER ...	1
FIGUR 2: AKTIVITETSBOKS .....	8
FIGUR 3: AKTIVITETERS AVHENGIGHET .....	9
FIGUR 4: NETTVERKSDIAGRAM [4] .....	10
FIGUR 5: GANTT-DIAGRAM .....	11
FIGUR 6: ILLUSTRASJON AV EN BIM-MODELL UTVIKLET I REVIT [9].....	12
FIGUR 7: ILLUSTRASJON AV LPDS [1] .....	17
FIGUR 8: LPS ULIKE PLANNIVÅER.....	18
FIGUR 9: ILLUSTRASJON AV LPS I PRAKSIS [14].....	19
FIGUR 10: SKANSKA VDC RAMMEVERK [16] .....	20
FIGUR 11: ILLUSTRASJON AV ICE-MØTE [19] .....	23
FIGUR 12: PROSEDYRE FOR UTVIKLING AV 4D-MODELL [10] .....	26
FIGUR 13: ILLUSTRASJON AV BRUKERGRENSESNITTET TIL 4D BIM UTVIKLET I SYNCHRO PRO [22]	27
FIGUR 14: FIRMALOGO MULTICONSULT [24] .....	32
FIGUR 15: MULTICONSULT VDC RAMMEVERK [25].....	32
FIGUR 16: PROSJEKTGJENNOMFØRINGSMODELL MULTICONSULT [25] .....	33
FIGUR 17: ILLUSTRASJON AV BIG ROOM (V.S.), MØTEGANG I MULTICONSULT (H.S.) [23] .....	34
FIGUR 18: FIRMALOGO KRUSE SMITH [28] .....	37
FIGUR 19: KRUSE SMITH VDC RAMMEVERK [29].....	37
FIGUR 20: KRUSE SMITH ICE-MØTE (V.S.), BIM-STASJON (H.S.) [29].....	38
FIGUR 21: BRUK AV ROBOT PÅ BYGGEPLASS [29] .....	39
FIGUR 22: 4D BIM UTVIKLET AV KRUSE SMITH .....	40
FIGUR 23: FIRMALOGO CONSOLIS SPENNCON [32].....	42
FIGUR 24: LOGO KRISTIANSAND KOMMUNE [34] .....	44
FIGUR 25: MØTEGANG I BIG ROOM PÅ KRISTIANSAND RÅDHUS.....	45
FIGUR 26: FERDIGSTILT LEGOHUS .....	46
FIGUR 27: BYGGEPROSCESS LEGOHUS [35].....	47
FIGUR 28: GJENNOMSNITTLIGE PRESTASJONER PER ALDERSGRUPPE VED BRUK AV 2D TEGNINGER ..	48
FIGUR 29: GJENNOMSNITTLIGE PRESTASJONER PER ALDERSGRUPPE VED BRUK AV 4D BIM.....	49
FIGUR 30: 3D BIM AV INDISTRIBYGG (V.S.), 4D SIMULERING AV INDUSTRIBYGG (H.S.).....	50
FIGUR 31: PLANLEGGINGSPROSCESS FOR 4D BIM V.S., BRUK AV 4D UNDER PRODUKSJON H.S. ....	51
FIGUR 32: OMSORGSBOLIGER STRØMME.....	53
FIGUR 33: PROSJEKTERINGSMØTE VED MULTICONSULTS AVDELINGSKONTOR I KRISTIANSAND .....	54
FIGUR 34: 4D BIM BRUKT I OPPLÆRINGSMODULER .....	56
FIGUR 35: ILLUSTRASJON AV "RE-SCHEDULING" FUNKSJON.....	89
FIGUR 36: ILLUSTRASJON AV "APPEARANCE PROFILES" FUNKSKJON .....	89
FIGUR 37: ILLUSTRASJON AV "BASELINES AND SCENARIO" FUNKSJON .....	90
FIGUR 38: ILLUSTRASJON AV "REPORT" FUNKSJON.....	90

## TABELLISTE

TABELL 1: LISTE OVER RELEVANTE FAGBEGREP .....	II
TABELL 2: LISTE OVER TILGJENGELIGE METODER FOR INNHENTING AV INFORMASJON .....	5
TABELL 3: INTERVJUKANDIDATER .....	6
TABELL 4: ANVENDT METODE IHT. FORSKERSPØRSMÅL .....	7
TABELL 5: AKTIVITETSBETINGELSER (KNYTTET TIL FIGUR 2) [4] .....	9
TABELL 6: BESKRIVELSER AV ULIKE DIMENSJONER BIM .....	13
TABELL 7: EKSEMPLER PÅ ANVENDELSE AV POP .....	22
TABELL 8: VDC MÅLINGER .....	25
TABELL 9: OVERSIKT EKSPERIMENTDELTAKERE .....	47
TABELL 10: MÅLING AV VARIABLER TILKNYTTET FORSØKET .....	52



# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>SAMMENDRAG.....</b>	<b>I</b>
<b>FAGBEGREPSLISTE.....</b>	<b>II</b>
<b>FIGURLISTE .....</b>	<b>III</b>
<b>TABELLISTE .....</b>	<b>IV</b>
<b>INNHALDSFORTEGNELSE .....</b>	<b>V</b>
<b>1.0 INNLEDNING .....</b>	<b>1</b>
<i>1.1 BAKGRUNN .....</i>	<i>1</i>
<i>1.2 OMFANG OG BEGRENSNING.....</i>	<i>2</i>
<i>1.3 FORMÅL OG PROBLEMSTILLING .....</i>	<i>3</i>
<b>2.0 METODE .....</b>	<b>4</b>
<i>2.1 KVALITATIVE OG KVANTITATIVE FORSKNINGSMETODER.....</i>	<i>4</i>
<i>2.2 INNSAMLING AV DATA.....</i>	<i>5</i>
2.2.1 LITTERATURSTUDIUM .....	6
2.2.2 INTERVJU .....	6
2.2.3 CASESTUDIER.....	7
2.2.4 DELTAKENDE OBSERVASJON .....	7
<i>2.3 ANVENDT METODE IHT. FORSKERSPØRSMÅL.....</i>	<i>7</i>
<b>3.0 TEORI .....</b>	<b>8</b>
<i>3.1 TRADISJONELL PROSJEKTPLANLEGGING.....</i>	<i>8</i>
3.1.1 WORK BREAKDOWN STRUCTURE - WBS .....	8
3.1.2 NETTVERKSDIAGRAM.....	8
3.1.3 CRITICAL PATH METHOD - CPM.....	10
3.1.4 GANTT-DIAGRAM .....	11
<i>3.2 BIM – BYGNINGSINFORMASJONSMODELLE .....</i>	<i>12</i>
3.2.1 ULIKE BIM-DIMENSJONER .....	13
3.2.2 ÅPENBIM .....	13
3.2.3 FORDELER MED BIM.....	14
<i>3.3 LEAN CONSTRUCTION.....</i>	<i>15</i>
3.3.1 LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM – LPDS .....	17
3.3.2 THE LAST PLANNER SYSTEM – LPS .....	18
<i>3.4 VIRTUAL DESIGN AND CONSTRUCTION – VDC.....</i>	<i>20</i>
3.4.1 PRODUCT, ORGANIZATION AND PROCESS – POP.....	22

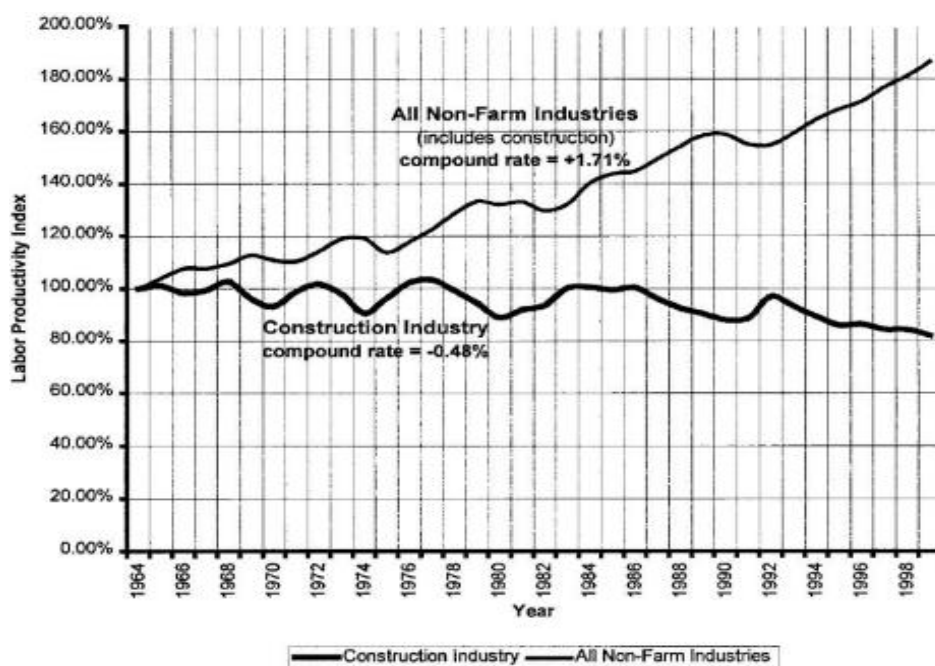
3.4.2 INTEGRATED CONCURRENT ENGINEERING – ICE.....	23
3.4.3 BIG ROOM/iROOM.....	24
3.4.4 MÅLINGER .....	25
<b>3.5 4D BIM.....</b>	<b>26</b>
3.5.1 BRUKERGRENSESNIFF .....	27
3.5.2 FORDELER OG BEGRENSENINGER .....	28
3.5.3 DETALJNIVÅ.....	28
3.5.4 RETNINGSLINJER FOR BRUK AV 4D BIM .....	29
3.5.5 PROGRAMVARER .....	30
<b>4.0 RESULTATER .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 BRUK AV VDC OG 4D BIM I BRANSJEN .....</b>	<b>31</b>
4.1.1 MULTICONSULT – KONSULENT .....	32
4.1.2 KRUSE SMITH – ENTREPRENØR .....	37
4.1.3 CONSOLIS SPENNCON – PRODUKSJON / PREFABRIKKERING.....	42
4.1.4 KRISTIANSAND EIENDOM – BYGGHERRE .....	44
<b>4.2 CASESTUDIER.....</b>	<b>46</b>
4.2.1 EFFEKTIVITETSMÅLING AV 4D BIM.....	46
4.2.2 MULIGHETSSTUDIE FOR BRUK AV 4D BIM.....	50
<b>4.3 DELTAKENDE OBSERVASJON – OMSORGSBOLIGER STRØMME.....</b>	<b>53</b>
4.3.1 INTRODUKSJON .....	53
4.3.2 BRUK AV VDC I PLANLEGGINGSPROSESSEN.....	54
4.3.3 INNFORING I SYNCHRO PRO .....	56
<b>5.0 DISKUSJON .....</b>	<b>59</b>
<b>5.1 BRUK AV VDC OG 4D BIM I BRANSJEN .....</b>	<b>59</b>
5.1.1 VDC .....	60
5.1.2 4D BIM.....	62
<b>5.2 CASESTUDIER.....</b>	<b>63</b>
5.2.1 EFFEKTIVITETSMÅLING AV 4D BIM.....	63
5.2.2 MULIGHETSSTUDIE FOR BRUK AV 4D BIM.....	64
<b>5.3 DELTAKENDE OBSERVASJON .....</b>	<b>65</b>
5.3.1 SYNCHRO PRO BRUKERVENNLIGHET .....	65
5.3.2 MULIGHETER VED BRUK AV 4D BIM I OMSORGSBOLIGER STRØMME .....	66
<b>6.0 KONKLUSJON .....</b>	<b>67</b>

<b>7.0 VIDERE ARBEID .....</b>	<b>69</b>
<b>8.0 REFERANSER .....</b>	<b>70</b>
<b>9.0 VEDLEGG .....</b>	<b>74</b>
<b>9.1 INTERVJUGUIDE .....</b>	<b>74</b>
4D BIM .....	74
VDC .....	75
<b>9.2 INTERVJU SAMMENDRAG.....</b>	<b>76</b>
SOLVEIG GEDDE-DAHL – SPENNCON .....	76
GUNNAR SKEIE – KRUSE SMITH.....	79
BJØRG EGELAND – MULTICONSULT .....	83
AINA SUNDE-DAHL – MULTICONSULT .....	86
JUDITH KARIN GAMMAN – KRISTIANSAND EIENDOM .....	87
<b>9.3 SYNCHRO PRO – FUNKSJONER.....</b>	<b>89</b>

## 1.0 INNLEDNING

### 1.1 BAKGRUNN

Byggebransjen er historisk kjent for å være lite produktiv sammenlignet med andre industrier [1]. En årsak til dette er at bransjen ikke følger den teknologiske og organisatoriske utviklingen på lik linje med andre industrielle bransjer, hvor innovasjon og digitalisering er i høyt fokus. Det er derfor essensielt å fremme innovative utførelsesstrategier og teknologisk utvikling, samt ta i bruk de tilgjengelige digitale hjelpemidler.



FIGUR 1: BYGGEBRANSJENS PRODUKTIVITETSNEDGANG SAMMENLIGNET MED ANDRE INDUSTRIER

En større omveltning startet hovedsakelig ved innføring av Bygningsinformasjonsmodeller (BIM) og Lean-tankegang. BIM er digitale bygningsmodeller, som bidrar til økt formidling av informasjon. Denne form for produksjonsunderlag har blitt vidt akseptert i bransjen, og flere velger bort papirtegninger til digitale 3D-modeller. BIM og Lean-tankegangen la grunnlaget for utvikling av flere innovative utførelsesstrategier som Virtual Design and Construction (VDC) og 4-Dimensjonal BIM. Konseptet VDC er i stort fokus i dagens byggebransje og er allerede blitt akseptert av flere bransjeaktører. VDC har som formål å øke produktiviteten og verdiskapning i byggeprosjekter gjennom en mer systematisert prosjektgjennomføring, som fremmer samhandling og kommunikasjon mellom de ulike aktører involvert i prosjektet, samt ved aktiv bruk av virtuelle bygningsmodeller og planleggingsverktøy. 4D-modellen er en videreutvikling av 3D-modellen hvor tid er innført som en ekstra dimensjon, dette gjøres ved å koble fremdriftsplan til 3D BIM. 4D BIM bidrar til en visuell fremstilling av fremdriftsplanen, og oppleves som mer intuitivt og forståelig enn tradisjonelle metoder for prosjektplanlegging.

## 1.2 OMFANG OG BEGRENSNING

Ettersom forkunnskaper innen feltet VDC og 4D er manglende, vil oppgaven ha et utgangspunkt i moderat kunnskapsnivå, som vil videreutvikles etterhvert som forskningsgrunnlag belyser emnene. Dette gjør at denne oppgaven er hovedsakelig tilsiktet personer med relativt lite bakgrunn innen feltet. På grunn av manglende forkunnskaper, vil ikke oppgaven være særlig dyptstikkende innen emnet, men har som hensikt å gi en innførende kunnskap. 4D BIM er fortsatt relativt nytt i bransjen, og det er dermed begrenset med erfaringer innen dette feltet. Det kan på bakgrunn av dette være vanskelig å innhente mye data fra tidligere erfaringer.

Intervju har bidratt til mye resultater i denne oppgaven, og ettersom det kun er foretatt intervju med en håndfull personer representerende ulike aktører fra norsk byggebransje, kan ikke disse resultater anses som absolutte. Disse kandidatene er selektert for å gi et innblikk i bransjens holdninger og erfaringer iht. bruk av VDC og 4D BIM i prosjekter, og det må konstanteres at det kan finnes motstridende meninger og erfaringer innad i bedriften eller i aktørkategorien. Det må også nevnes at noen av de utvalgte intervjukandidater er pådrivere innen feltet, og vil trolig ikke være helt upartiske.

For å få et realistisk innblikk i planleggingsprosesser og bruk av VDC, deltok undertegnede som observatør på prosjekteringsmøter tilhørende prosjektet «Omsorgsboliger Strømme», som utvikles for Kristiansand kommune. Dette ble også gjort for å innhente et grunnlag til å produsere en 4D BIM. Det var derimot ikke mulig å lage en 4D BIM basert på dette prosjektet, ettersom en fremdriftsplan tilknyttet produksjon ikke ble utviklet i tide til oppgavens frist. Ettersom undertegnede mangler både praktisk erfaring og teknisk forståelse for utvikling av fremdriftsplan, har utvikling av 4D BIM måtte kuttet fra oppgaven og fokuset ble forskjøvet til generell opplæring og bruk av 4D programvare, for å belyse muligheter og funksjoner med 4D BIM. I utgangspunktet var opplæringen i programvaren ment som en innledende del før en praktisk 4D-modell av prosjektet ble utviklet, det er derfor valgt å beholde dette under samme kapittel, på tross av en manglende tilknytning.

Det var i utgangspunktet tiltenkt å basere casestudier på reelle byggeprosjekter hvor VDC og/eller 4D BIM ble aktivt benyttet i hele prosjektgjennomføringen, men etter å ha vært i kontakt med flere personer og bransjeaktører, viste dette seg å være utfordrende. Hensikten med casestudiene ble dermed endret til å innhente eksisterende forskning som kvantifiserer bruken av VDC og/eller 4D BIM i prosjektgjennomførelse.

## 1.3 FORMÅL OG PROBLEMSTILLING

Det overordnede formålet med oppgaven er å belyse emnene Virtual Design and Construction og 4D BIM, og hvordan disse kan bidra til en forbedret prosjektgjennomføring. Oppgaven tilsikter også å kartlegge bransjens holdninger til begrepene VDC og 4D BIM, samt de ulike tolkninger og erfaringer ved implementering i byggeprosjekter.

For å systematisk belyse relevante spørsmål og utfordringer i oppgaven, har det blitt formulert en problemstilling som utypes gjennom en rekke underliggende forskerspørsmål.

### **PROBLEMSTILLING**

*Til hvilken grad kan bruk av VDC og 4D BIM bidra til en forbedret prosjektgjennomføring?*

### **FORSKERSPØRSMÅL**

1. Hva innebærer begrepene VDC og 4D BIM?
2. Hvilke erfaringer har bransjens ulike aktører med VDC og 4D BIM?
3. Finnes det kvantifiserbare data som beskriver hvilken effekt bruken av VDC og/eller 4D BIM har på prosjektgjennomføringen?
4. Hvor teknisk krevende er det å utvikle en 4D BIM, og hva kjennetegner en god 4D BIM i henhold til detaljgrad?

I det påfølgende kapittel utledes de ulike metoder anvendt for å besvare problemstillingen og de underliggende forskerspørsmål.

## 2.0 METODE

### 2.1 KVALITATIVE OG KVANTITATIVE FORSKNINGSMETODER

Ved forskning er det vanlig å skille mellom to primære metoder for innhenting og tolkning av data, disse er kvalitative og kvantitative forskningsmetoder.

#### **KVALITATIVE METODER**

Kvalitative data innebærer at dataene ikke kan direkte tallfestes, dette er kjent som «mykdata» [2]. Kvalitative metoder er egnet hvor problemstillingen noe uklar. Ved hjelp av induktiv tilnærningsmetode, kan forskeren skaffe en helhetlig forståelse for temaet. Kunnskap kan eksempelvis genereres gjennom intervju, hvor individer kan formidle sine meninger og erfaringer. Disse dataene kan tolkes ulikt ut ifra individers opplevelse og erfaring, dette gjør at dataene må bearbeides for å verifisere kredibiliteten til informasjonen. En bieffekt ved bruk av kvalitative intervjuer er at intervjueren kan påvirke resultatet. Dette kan blant annet forekomme av at kandidaten kan bli utsatt for prestasjonspress, som kan medføre improvisasjon for å skjule uvitenhet.

#### **KVANTITATIVE METODER**

Kvantitative data innebærer at dataene er målbare, dette er kjent som «harddata». [2] Kvantitative metoder er egnet hvor problemstillingen er spesifikk. Her kan en hypotetisk-deduktiv tilnærming anvendes til å verifisere teorier gjennom hypotesetesting. Dette gir representative data, gjeldene for den spesifikke problemstilling. Kunnskap kan eksempelvis genereres gjennom statistiske tilnærminger, som spørreskjema direkte tilknyttet en gitt problemstilling. Svaralternativer vil være ferdig formulerte og flere kandidater vil delta i undersøkelsen. Dette gir statistisk grunnlag, og muligheter for å produsere kvantifiserbare data. Dette kan videre presenteres i form av tallverdier, tabeller og diagrammer. Kvantitative metoder gir få opplysninger per individ, derfor stilles det store krav til en konsis og velkonstruert spørsmålsformulering, slik at spørsmålet blir tilstrekkelig belyst. På denne måten sikres god validitet, og risiko for å trekke feil beslutning reduseres.

## 2.2 INNSAMLING AV DATA

Det finnes en rekke metoder for innhenting av informasjon til å belyse de forskjellige aspekter i en problemstilling. Det er essensielt å bruke egnede metoder for å oppnå gode resultater. I *tabell 2*, finnes en oversiktlig beskrivelse av tilgjengelige metoder av relevans til oppgaven [2].

Metode	Beskrivelse
Litteraturstudium	Innhenting og gjennomgang av eksisterende forskning/kunnskap
Intervju	Intervju av personer med kunnskaper om emnet
Casestudier	Analyse av tidligere erfaringer innen emnet
Deltakende observasjon	Forskeren er inkludert i prosjektet som studeres
Spørreundersøkelser	Velformulerte spørsmål omhandlende emnet sendes ut til flere relevante mottakere

**TABELL 2: LISTE OVER TILGJENGELIGE METODER FOR INNHENTING AV INFORMASJON**

Av disse overnevnte metoder ble det avgjort at det skal anvendes:

- Litteraturstudium
- Intervju
- Casestudier
- Deltakende observasjon

Dette kommer av oppgaven er hovedsakelig strukturert som en kvalitativ undersøkelse med en induktiv tilnærming, og disse metoder er spesielt egnet for en slik tilnærming. Årsaken til dette er at informasjon og kunnskap innen emnet er hovedsakelig erfaringsbasert og noe manglende på kvantifiserbare data. Mye av kunnskapen tilegnet fra oppgaven vil også bestå av bransjens erfaring med VDC og 4D BIM, og undertegnedes personlige erfaringer med 4D BIM, det er derfor en nødvendighet å se på emnet i sin helhet kontra spesifikke data. Det vil allikevel oppstå et behov for kvantitativ validering av resultater for å støtte opp tilegnet kunnskap gjennom anvendte metoder. Dette gjøres ved å foreta casestudier med innhold av kvantifiserbare data.



### 2.2.1 LITTERATURSTUDIUM

Professor Alan Bryman fra Universitetet i Leicester, er ekspert innen feltet «Organisational and Social research», og han konstaterer viktigheten i å foreta grundig forskning innen et tema for å kunne begrunne en tilstrekkelig konklusjon. Dette innebærer å søke flere kilder innen emnet som utforskes, og slik forhindre ensidige resultater [3]. På basis av dette har det blitt anvendt flere anerkjente søkedatabaser og søkeord ved bruk av internett, for å forsikre at temaet undersøkes grundig og i sin helhet. Her ble det innhentet mye informasjon i form av forskningsartikler, masteroppgaver, doktorgradsavhandlinger og casestudier. Det ble også innhentet relevant litteratur i form av bøker, hovedsakelig fra universitetsbiblioteket.

- *Kildedatabaser: Scopus, Google Scholar, BIBSYS Brage, Oria*
- *Søkeord: VDC, 4D BIM, 4D-modelling, Project management, BIM, Lean Construction*

### 2.2.2 INTERVJU

I oppgaven vil det utføres intervju med nøkkelpersoner fra byggebransjen som har erfaring eller kunnskaper om bruk av 4D BIM og/eller VDC. Målet med dette er å kartlegge erfaringer ved implementering av disse metodikkene, samt identifisere de ulike holdninger og tolkninger av begrepene. Det vil utvikles en generell intervjuguide med faste, beskrivende spørsmål som vil anvendes ved intervju av utvalgte kandidater. Dette vil belyse de utvalgte personers ulike erfaringer i henhold til fastsatte spørsmål. Intervjuguiden kan finnes i som vedlegg. Herunder følger en liste over aktuelle intervjuobjekter:

Navn	Bedrift	Stillingstittel	Kunnskapsfelt
Aina Sunde Dahl	Multiconsult	Avdelingsleder gjennomføring	VDC
Björg Egeland	Multiconsult	Rådgivende ing. bygg (MSc.)	4D BIM & VDC
Gunnar Skeie	Kruse Smith	Utviklingsleder VDC	4D BIM & VDC
Solveig Gedde Dahl	Spenncon	Konstruksjonsdirektør	4D BIM
Judith Karin Gamman	Kristiansand kommune	Prosjektleder	Prosjektledelse

TABELL 3: INTERVJUKANDIDATER

Etter fullført intervju utvikles et sammendrag og et utdrag om bruken av VDC og 4D BIM i organisasjonen som kandidaten representerer. Disse blir oversendt til de aktuelle personer slik at informasjonen kan bli kontrollert og bekreftet. Eventuelle kommentarer og ønskede endringer tilføres, og det endelige skrevet vedlegges i oppgaven. Slik utelukkes feilkilder og kredibiliteten til intervjuene og resultatene ivaretas.

### 2.2.3 CASESTUDIER

Casestudiene uthentes hovedsakelig fra eksisterende litteratur, hvor formålet er å anskaffe kvantifiserbare data som beskriver hvordan 4D BIM påvirker prosjektgjennomførelsen. Med dette ønskes det å belyse hvordan 4D BIM bidrar til prosjektets ulike variabler som effektivitet, produktivitet, tidsbruk, etc. Det har derimot vist seg å være problematisk å tilegne kvantifiserbare data som beskriver hvordan VDC påvirker prosjektgjennomførelsen, ettersom dette er et komplekst begrep med ulike tolkninger, er det vanskelig å sammenligne resultater.

### 2.2.4 DELTAKENDE OBSERVASJON

Deltakende observasjon ble valgt som en metode for datainnsamling for å sikre en objektiv og personlig kunnskap om emnet som utforskes. Denne metoden gjennomføres ved at undertegnede deltar i et pågående byggeprosjekt, for å analysere planleggingsprosessen og bruk av VDC. Det forsøkes i tillegg å kartlegge et moderne 4D-verktøys brukervennlighet og anvendelighet, samt gi en innførende kunnskap om bruken av 4D BIM for leseren.

## 2.3 ANVENDT METODE IHT. FORSKERSPØRSMÅL

I *tabell 4* herunder beskrives hvilke metoder som anvendes for å besvare de aktuelle forskerspørsmål fastsatt i oppgaven.

Metode	Forskerspørsmål
Litteraturstudium	1. Hva innebærer begrepene VDC og 4D BIM?
Intervju	2. Hvilke erfaringer har bransjens ulike aktører med VDC og 4D BIM?
Casestudier & intervju	3. Finnes det kvantifiserbare data som beskriver hvilken effekt bruken av VDC og/eller 4D BIM har på prosjektgjennomførelsen?
Deltakende observasjon & intervju	4. Hvor teknisk krevende er det å utvikle en 4D BIM, og hva kjennetegner en god 4D BIM i henhold til detaljgrad?

TABELL 4: ANVENDT METODE IHT. FORSKERSPØRSMÅL

## 3.0 TEORI

### 3.1 TRADISJONELL PROSJEKTPLANLEGGING

#### 3.1.1 WORK BREAKDOWN STRUCTURE - WBS

WBS kan oversettes til *arbeidsnedbrytningsstruktur* eller *prosjektnedbrytningsstruktur*, men disse begrepene er ikke særlig brukt i bransjen, som foretrekker WBS. Hensikten med WBS er å bryte ned prosjektet i mindre arbeidspakker som ordnes hierarkisk i henhold til oppgavers natur og størrelsesorden. Den mest finurlige og konkrete oppdelingen av oppgaver er aktiviteter, dette er spesifikke oppgaver hvor arbeidet blir utført [4].

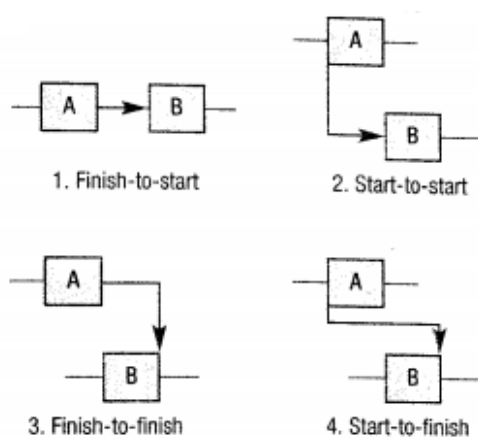
#### 3.1.2 NETTVERKSDIAGRAM

Et nettverksdiagram er en visuell representasjon av aktiviteter tilhørende et gitt prosjekt. Hver aktivitet visualiseres som en «aktivitetsboks» i systemet, og er enten avhengig eller uavhengig av foregående aktiviteter i systemet. Hver aktivitet er definert og inkluderer attributtene beskrevet i *figur 2*: [4]

Tidligste starttid	Varighet	Tidligste fullføringstid
Aktivitet		
Seneste starttid	Fleksibilitet	Seneste fullføringstid

FIGUR 2: AKTIVITETSBOKS

Nettverksdiagrammet dannes på grunnlag av en oversiktlig tabell som beskriver aktiviteters betingelser. Denne tabellen beskriver når en aktivitet kan starte/fullføre, forholdet til foregående aktiviteter og varigheten. Å definere forholdet til foregående aktiviteter er kjent som noe av det mest problematiske ved utarbeiding av et nettverksdiagram. Å etablere et forhold mellom to aktiviteter kan gjøres gjennom fire grunnleggende steg (henviser til *figur 3*): [4]



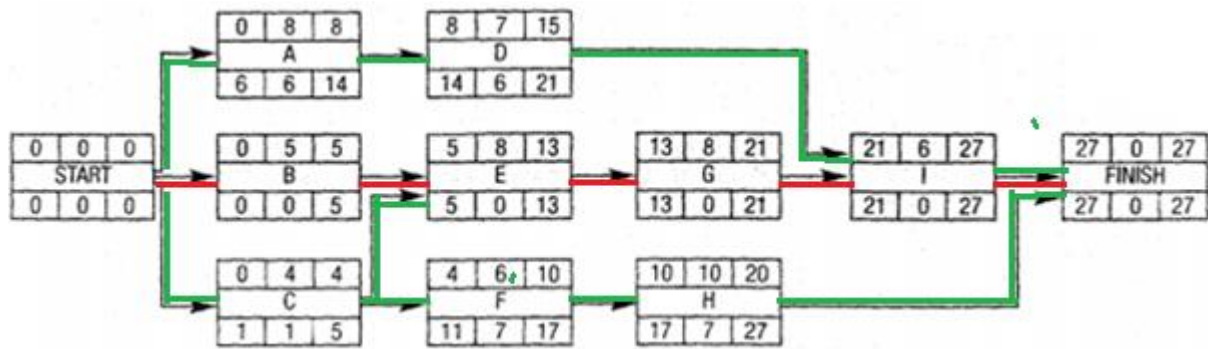
1. *Slutt til start*: Aktivitet A må fullføres før aktivitet B kan starte
2. *Start til start*: Når aktivitet A kan starte, kan også aktivitet B starte
3. *Slutt til slutt*: Aktivitet A må fullføres før aktivitet B kan fullføres
4. *Start til slutt*: Så lenge aktivitet A har startet kan aktivitet B fullføres

FIGUR 3: AKTIVITETERS AVHENGIGHET

Når forhold mellom aktiviteter er kartlagt kan det dannes en oversiktlig tabell som vist i *tabell 5*. Denne tabellen kan videre bli brukt til å visualisere nettverksdiagrammet. Diagrammet brukes til å identifisere kritiske aktiviteter som kan påvirke prosjektets varighet ved hjelp av «*Critical Path Method (CPM)*», også kjent som *Den kritiske sti metode* [4]. Dette tillater større kontroll over prosjektet ettersom det belyser de aktiviteter som har større behov for styring. På denne måten kan prosjektstyringen foregå mer kontrollert og systematisk, og usikkerhet reduseres. *Figur 4* viser et enkelt nettverksdiagram med aktiviteter definert som alfabetiske bokstaver, og tid i uker. *Den kritiske stien* representeres med rød farge og de ukritiske stier med grønn farge.

Aktivitet	Direkte forgjenger(e)	Varighet
A	-	8
B	-	5
C	-	4
D	A	7
E	B & C	8
F	C	6
G	E	8
H	F	10
I	D & G	6

TABELL 5: AKTIVITETSBETINGELSER (KNYTTET TIL FIGUR 2) [4]



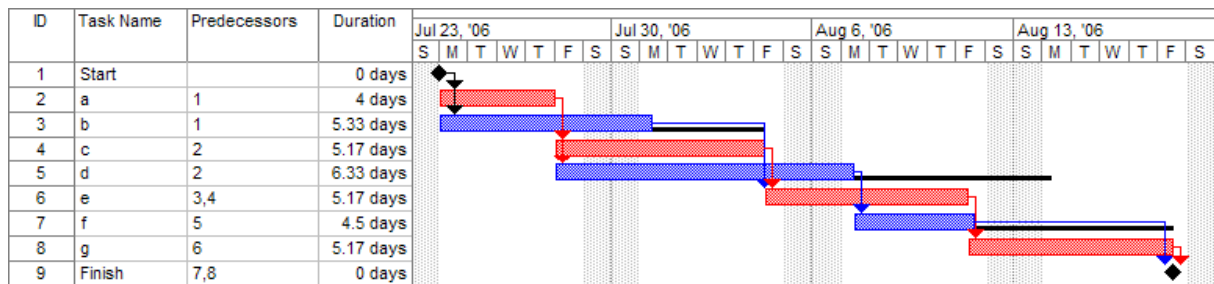
FIGUR 4: NETTVERKSDIAGRAM [4]

### 3.1.3 CRITICAL PATH METHOD - CPM

Den kritiske stien er definert som sekvensen av aktiviteter i nettverket som forårsaker lengst total prosjektvarighet [4]. Aktiviteter som befinner seg på den kritiske stien er ansett som kritiske aktiviteter, og påvirkninger på disse aktiviteter vil ha direkte innflytelse på prosjektets varighet. Den kritiske stien brukes også til å identifisere de forskjellige aktiviteter som har en «fleksibilitet», som tilsier at arbeidsrommet er til en viss grad fleksibelt, og kan endres uten å forlenge prosjektets varighet. Den kritiske stien bestemmes av et «Forward pass» og et «Backward pass». Forward pass innebærer en kontroll fremover i tid, for å se hvilke aktiviteter som fører til lengst prosjektvarighet. Dette er representert i de tre øverste verdiene i aktivitetsboksen tilhørende nettverket. Backward pass innebærer en kontroll bakover i tid, for å se hvilke aktiviteter som befinner seg på den kritiske stien og hvilke aktiviteter som har en viss fleksibilitet. Dette er representert i de tre nedre verdiene i aktivitetsboksen tilhørende nettverket. Hvis fleksibiliteten er lik null, er det en kritisk aktivitet. Alle sammenhengende aktiviteter med null i fleksibilitet danner «Den kritiske stien». Mange moderne kommersielle programvarer har automatisert denne metoden som en innebygd funksjon i programmet. Dette forenkler prosessen og muliggjør bruken av elektroniske Gantt-diagram uten hjelp av den manuelle metoden som anvendes ved nettverksdiagrammet.

### 3.1.4 GANTT-DIAGRAM

Aktivitetene i et Gantt-diagram fremstilles i en lineær tidslinje, og fremstår som mer intuitiv og lettere å tolke enn nettverksdiagrammet [4]. Aktivitetslinjene er definerte oppgaver, og er registrert med tidligste starttid og varighet, hvor linjens lengde er lik varigheten. Aktivitetene er betinget på en tilnærmet lik måte som ved nettverksdiagrammet, men forholdet er ikke like innlysende. Kritiske aktiviteter er markerte, for å sikre kontroll over prosjektets varighet. Gantt-diagrammet legger til grunn plattformen for de fleste moderne dataprogrammer anvendt til prosjektplanlegging. Et typisk eksempel på dette er MS Project. Grunnet tilgangen på digitale hjelpemidler og brukervennlighet, er denne metoden bredt akseptert av aktører i byggebransjen. *Figur 5* viser et simpelt Gantt-diagram utviklet ved hjelp av MS Project. Den kritiske stien er representert med rødt, og den ukritiske stien med blått. De svarte strekene viser fleksibiliteten til de ukritiske aktivitetene og firkantene definerer milepæler (start/slutt) [5].



FIGUR 5: GANTT-DIAGRAM

### 3.2 BIM – BYGNINGSINFORMASJONSMODELL

Charles Eastman er ansett som en av verdens ledende eksperter innen BIM, og han definerte begrepet slik:

*«BIM is a digital representation of the building process to facilitate exchange and interoperability of information in digital format».* [6]

Med dette beskriver han en BIM som en digital visualisering av byggeprosesser, som er til for å formidle informasjon og fremme tverrfaglig samhandling. Et alternativt begrep for å beskrive BIM er Computer Aided Design (CAD), som betyr dataassistert konstruksjon (DAK). BIM eller CAD er en modernisering av de tradisjonelle papirtegnningene, overført til elektroniske virtuelle bygningsmodeller, med større grad av informasjon og nøyaktighet tilknyttet modellen. Dette styrker og effektiviserer kommunikasjonen mellom faggruppene, samtidig som informasjonen blir lettere tilgjengelig. Modellen utarbeides under prosjekteringen og kan inneholde informasjon som materialtype, mål og areal, brannkrav, isolasjonskrav, etc. [7]. Modellen kan eksempelvis brukes til mengdeberegninger, kontrollberegninger, underlag for kalkyle og for å sjekke kollisjoner og konflikter mellom bygningsdeler som ventilasjon, el.system etc. I følge BIM Center Norge kan bruk av BIM bidra til hele 30-50% reduksjon i byggekostnader og 70% effektiviseringsgevinst for leverandører. [8]



FIGUR 6: ILLUSTRASJON AV EN BIM-MODELL UTVIKLET I REVIT [9]

### 3.2.1 ULIKE BIM-DIMENSJONER

En tradisjonell oppfatning av BIM er at modellen anses som 3Dimensjonal inkluderende geometriske variabler, men modellen begrenses nødvendigvis ikke med dette. BIM kan strekke seg i flere dimensjoner som beskrives kort i *tabell 6* herunder [10]:

Dimensjon	Beskrivelse
3D	Geometriske variabler som; Lengde, bredde, høyde
4D	3D + tid i form av fremdrift som knyttes til bygningselementer (utledes i kap. 3.5)
5D	4D + Kostnader, knyttes til bygningselementer
6D	5D + Forvaltning, drift og vedlikehold (FDV), dokumentasjon knyttes til bygningselementer

**TABELL 6: BESKRIVELSER AV ULIKE DIMENSJONER BIM**

### 3.2.2 ÅPENBIM

buildingSMART er en internasjonal interesseorganisasjon for bygg-, anlegg- og eiendomsnæringen. Organisasjonen har som mål å sikre utvikling og implementering av en felles digital plattform for å effektivisere bransjen [7]. For at BIM skal være effektivt, er det viktig at informasjon deles mellom de forskjellige aktører involvert i prosjektet. BuildingSMART har utviklet et standard filformat for tverrfaglig bruk, kalt IFC. Filformatet kan brukes av sertifiserte programmer anvendt i byggebransjen, og åpner muligheten for å utveksle komplekse modeller på tvers av fagdisipliner og programvarer. Dette kalles åpenBIM.



### 3.2.3 FORDELER MED BIM

*Ved forprosjekt: [11]*

- Klarere formål, gjennomførbarhet og designfordeler
- Økt funksjonalitet og kvalitet til endelig produkt
- Økt tverrfaglig kommunikasjon og samarbeid

*I prosjekteringsfase:*

- Tidligere og mer nøyaktig visualisering av design
- Automatiske korreksjoner ved endringer på modell
- Generere presise og konsekvente arbeidstegninger
- Tidligere og styrket tverrfaglig samarbeid
- Tidligere og mer nøyaktige kostnadsoverslag
- Økt bærekraftighet og energieffektivitet

*I byggefase:*

- Bruk av modell som basis for prefabrikking av elementer
- Rask respons på endringer i design
- Oppdage feil og kollisjoner i modell før produksjon
- Kan kombineres med fremdriftsplan gjennom 4D BIM
- Enkel implementering av Lean arbeidsmetodikk
- Synkronisere anskaffelser med design og byggeprosess

*Etter fullføring:*

- Enklere formidling av nødvendig informasjon til driftsansvarlige
- Bedre ledelse og drift av fasiliteter
- Enklere integrering av systemer for ledelse og drift av fasiliteter

## 3.3 LEAN CONSTRUCTION

Lean Construction ble utviklet som en direkte respons til produktivitetsnedgangen sett i byggeindustrien i senere tid. Stor misnøye blant kundebasen grunnet overskridende leveransetider og kostnader, samt utilstrekkelig kvalitet har medført et stort behov for forbedringer. Per dags dato anslås det at 70% av prosjekter overskrider leveransetiden, og 73% overskrider budsjettet [5]. Lean Construction er en videreutvikling av Lean Production, tilpasset byggeindustriens utfordringer og struktur. Lean Production er basert på bilprodusenten Toyotas modell for organisering, og består av prinsippene: [5]

1. Baser beslutninger på en langsiktig filosofi
2. Skap kontinuerlig prosessflyt
3. Bruk "Pull" systemer
4. Fordel arbeidet
5. Skap en kultur som stopper opp og eliminerer problemer underveis
6. Standardiser oppgaver
7. Bruk visuell kontroll
8. Bruk pålitelig teknologi og arbeidskraft
9. Dyrk dyktige ledere
10. Utvikle enestående mennesker og team
11. Respekter samarbeidspartnere
12. Se selv
13. Bruk god tid på beslutninger og vurder muligheter
14. Bli en organisasjon som lærer gjennom refleksjon og kontinuerlig forbedring

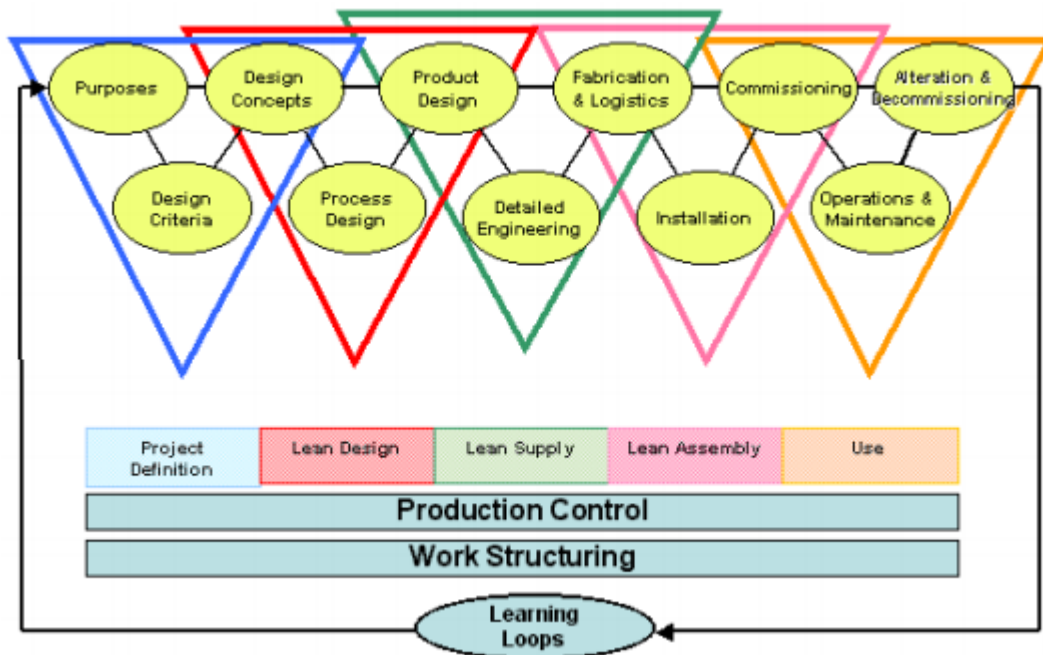
Med disse prinsippene til grunne kunne Toyota vise til svært positive resultater som høyere produktivitet og bedre kvalitet enn konkurrentene [12]. Hovedproblemet med Lean er derimot at det er omfattende og upresist, noe som gjør standardisering på tvers av bransjer problematisk [5]. Byggeindustrien har generelt større grad av usikkerhet og flere prosesser enn i industrier med kontrollert miljø og repeterende arbeid. Dette kommer av at byggeindustrien er lokasjonsbasert, og er avhengig av mange ukjente faktorer som miljø, lokasjon, grunnforhold, etc. Arbeidet er også lite repeterende, ettersom forskjellige konstruksjoner har ulike behov og metoder for utførelse. Det er også i stor grad tverrfaglighet, som gjør kommunikasjonen mer kompleks. På bakgrunn av dette er ikke en direkte overføring av Lean Production mulig, men de grunnleggende verdier og prinsipper er allikevel gjeldene for Lean Construction.

### **KARAKTERISTIKKER VED LEAN CONSTRUCTION [13]**

- Lean Construction fokuserer på å øke leveranseverdi og eliminering av ressurssvinn i form av tid, forflytning og menneskelig potensiale i alle prosjektfaser.
- Prosjekter overvåkes, slik at resultater kan bli analysert og bidra til å sikre kontinuerlig forbedring og et mer forutsigbart utfall.
- Verdi og visjon for kunde er klart definert og imøtekommet under hele prosjektets varighet.
- Aktivitetskoordinering utføres gjennom «Pull planning» systemer

## 3.3.1 LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM – LPDS

The Lean Construction Institute har utviklet en ny metode for levering av byggeprosjekter basert på prinsippene om Lean Production. Denne metoden kalles Lean Project Delivery System (LPDS). LPDS fokuserer på å involvere «Downstream players», eksempelvis fagmenn i planleggingsprosessen, standardisere prosjektleveranser som verdigenererende prosesser og sikre en mer pålitelig arbeidsflyt. Figuren herunder illustrerer LPDS: [1]



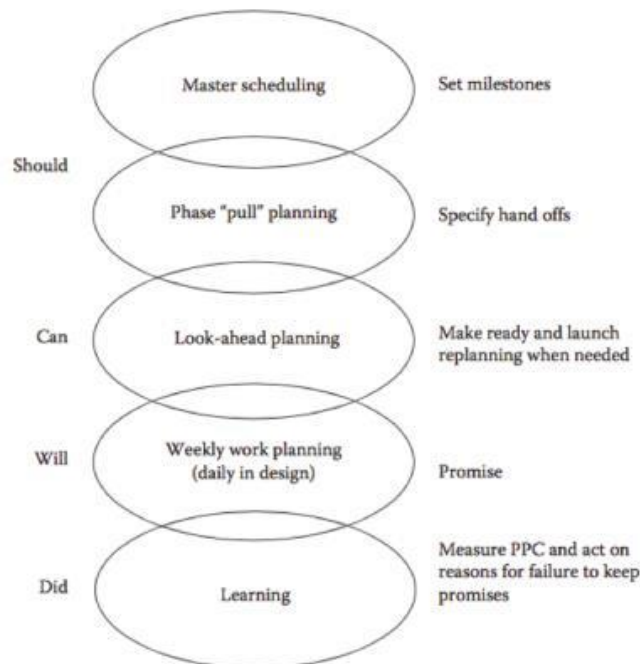
FIGUR 7: ILLUSTRASJON AV LPDS [1]

LPDS modellen består av fem sammenhengende kronologiske faser; *Project definition*, *Lean design*, *Lean supply*, *Lean assembly* og *Use*. Dette kan direkte oversettes til; definisjon av prosjekt, lean prosjektering, lean forsyning, lean montering og bruk. Hver fase inneholder tre moduler representert som trekanten. Et eksempel fra modellen er at *Project definition* fasen inkluderer formål, konsept og kriterier som igjen overlapper med Lean design som består av produkt, prosess og konsept. Produksjonskontroll og arbeidsstrukturering foregår under hele livssyklusen. LPDS beskriver rekkefølgen og strukturen på hele byggeprosessen fra oppstart til leveranse og bruk. Et annet eksempel ved bruk av LPDS er Lean design og Lean supply fasen som har produkt design som felles komponent. Ved å bruke en mer informativ 3D-modell fra Project definition fasen til prefabrikking og montasje i Lean Assembly fasen kan prinsippet om LPDS opprettholdes.

### 3.3.2 THE LAST PLANNER SYSTEM – LPS

The Last Planner System er en metode for planlegging og kontroll av produksjon. Metodikken bygger på Lean prinsippene og har som formål å øke påliteligheten ved planlegging, sikre bedre ytelse ved produksjon og skape en mer forutsigbar arbeidsflyt [14]. LPS har blitt anvendt i stor grad av aktører med tilknytning til produksjon, eksempelvis entreprenører, som kan henvises til stor suksess ved implementering. Denne metoden kan også overføres til prosjekteringsfasen ved å anse produksjon av dokumenter og CAD-modeller som informasjonsflyt, som bearbeides til produkter [14].

I tradisjonell prosjektplanlegging benyttes «Push» systemer, som betyr at ressurser allokeres på forhånd basert på tidsfrister i henhold til prosjektplan. LPS er et «Pull» system, dette innebærer at prosjektlederen tar utgangspunkt i milepæler i hovedplanen og identifiserer hvilke foregående aktiviteter som er nødvendig for å oppfylle milepælen. Deretter «dras» ressursene inn i de nødvendige aktiviteter for å fullføre de kritiske aktivitetene [14]. I kontrast til «Push» systemer, kommuniserer prosjektleder med de ulike aktører som er ansvarlige for de enkelte aktiviteter, og tilegner «Reliable promises» eller troverdige lovnader om at aktiviteten faktisk kan fullføres ved hjelp av tilgjengelige ressurser til estimert tid eller presentere alternative løsninger [5]. Denne metoden bidrar til en mer pålitelig og forutsigbar arbeidsflyt. LPS opererer på fire ulike plannivåer illustrert i *figur 8* [5]:



FIGUR 8: LPS ULIKE PLANNIVÅER

Plannivåene består av; *Hovedfremdriftsplanen*, *Faseplan (Pull)*, *Utkikksplan* og *Ukeplan*. *Hovedfremdriftsplanen* er den overordnede oversikten over prosjektets ulike faser, og blir utviklet tidlig i prosjektet som en optimistisk prognose. Planen består av viktige aktiviteter og milepæler. *Faseplanen* er en mer detaljert plan for de forskjellige byggefasene som spesifiserer leveranser og aktiviteter som er nødvendig for å nå milepæler. *Utkikksplanen* er en plan med enda høyere detaljnivå, og strekker seg over et betinget tidsintervall på flere uker avhengig av prosjektets størrelse. I denne planfasen benyttes WBS til å bryte ned arbeidet i «arbeidspakker» og aktiviteter, samt formidle ressurser til de nødvendige aktiviteter. *Ukeplanen* produseres på ukentlig basis og tar utgangspunkt i Utkikksplanen. Planlagte aktiviteter er detaljert beskrevet, sikre og sekvenser er optimalisert i henhold til produktivitet. Videre benyttes ukeplanen eller dagsplanen til å lage en oversiktlig fremstilling av konkrete aktiviteter, som presenteres i et lappeformat. Hver lapp representerer en arbeidsoppgave/aktivitet som skal utføres, og fjernes når aktiviteten er utført. Lappene plasseres i et rutenett på en vegg, med en kronologisk tidslinje. Dette kan bidra til en mer kontrollert og effektiv arbeidsflyt. I figur 9 herunder illustreres hvordan LPS brukes i praksis:



FIGUR 9: ILLUSTRASJON AV LPS I PRAKSIS [15]

### 3.4 VIRTUAL DESIGN AND CONSTRUCTION – VDC

Begrepet Virtual Design and Construction ble utviklet av John Kunz and Martin Fischer ved Stanford University - Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) i 2001. De definerer begrepet slik: [1]

*«The use of multi-disciplinary performance models of design-construction projects, including the Product (i.e., facilities), Work Processes and Organization of the design - construction - operation team in order to support business objectives»*

VDC defineres som en tverrfaglig utførelsesstrategi støttet av tilgjengelige metoder for planlegging, prosjektering og utførelse av prosjekter ved hjelp av virtuelle datamodeller. VDC har som formål å kombinere BIM-teknologi med Lean tankegang og praksis for å effektivisere planlegging og utførelse av prosjekter, samt øke kvalitet og verdi for kunden [16]. For at dette skal nå sitt fulle potensiale er det essensielt at det dannes et standardisert rammeverk som kan kombinere de eksisterende metoder og verktøy. Fundamentalt sett kan ikke et prosjekt produsere et tilfredsstillende resultat hvis ikke informasjonen og arbeidsflyten er forutsigbar og troverdig. BIM bidrar med troverdig informasjon og Lean tankegangen bidrar med forutsigbar informasjon. På denne måten sikres et tilfredsstillende resultat. Den visuelle fremstillingen av prosjektet kan brukes til å simulere byggeprosessen kompleksitet, forstå fallgruver og utfordringer som kan forekomme, og adressere dem virtuelt før byggestart. På denne måten kan problem utelukkes før de oppstår [1]. I tillegg til disse to fundamentale bærebjelker i VDC definisjonen, består VDC av en rekke andre emner som etableringsfaser, målsettinger, POP-modell, metoder og verktøy. Disse emnene utledes i dette kapittelet. I figur 10 herunder illustreres et typisk VDC rammeverk implementert av Skanska



FIGUR 10: SKANSKA VDC RAMMEVERK [17]



VDC rammeverket implementeres på ulike måter blant de forskjellige aktører som benytter utførelsesstrategien. CIFE har utviklet en generell beskrivelse på de tre faser som danner VDC grunnlaget, som de fleste aktører baserer sitt integrerte rammeverk på [18]:

1. *Visualisering og måling*: I denne fasen skaper prosjektteamet en POP-modell, inkluderende 3D-modell av produktet, organiseringsmetode og prosessen. Videre brukes målinger for å kartlegge progresjon og øke prosjektkontroll.
2. *Integrering*: I denne fasen utvikler prosjektteamet en dataplattform som kan brukes til å utveksle data mellom ulike modellerings- og analyseapplikasjoner på en pålitelig måte.
3. *Automatisering*: I denne fasen bruker prosjektteamet automatiserte metoder for å utføre rutinemessig prosjektering og eventuelt bruke enkelte prefabrikkerte elementer basert på 3D-modellen.

CIFE har også definert et sett med eksplisitte målsettinger i et prosjekt som bør etableres, overvåkes og ledes for å oppnå effektiv bruk av VDC [18]:

1. *Kontrollerbare faktorer*: Inkluderer VDC modell, analysestrategi og prosessmålsettinger.
2. *Målbare parametere for prosessytelse*: Eksempelvis prosjektplanens overensstemmelse og responstid.
3. *Målbare resultater fra prosjektmålsettinger*: Eksempelvis prosjektplanen, sikkerhet, kostnader og kvalitet.

CIFE har også utviklet et utdanningsprogram innen VDC som resulterer i en sertifisering innen feltet. Målet med utdanningsprogrammet er å opplære deltakere innen VDC prinsipper og bruk, og hjelpe deltakere å etablere en implementeringsstrategi for VDC iht. bedriftens mål [19]. Det langsiktige målet med utdanningsprogrammet er å skape en mer standardisert og effektiv prosjektgjennomføring.



### 3.4.1 PRODUCT, ORGANIZATION AND PROCESS – POP

I følge Kunz og Fischer er det tre faktorer en prosjektleder kan kontrollere i et prosjekt: [18]

1. *Produktet som skal produseres*
2. *Organiseringen av arbeidskraften*
3. *Prosessen bak arbeidet*

Disse tre faktorer danner grunnlaget for *POP-modellen*, som er et viktig hjelpemiddel for utvikling av de virtuelle modellene som benyttes innen VDC. Produktet defineres som det fysiske i byggeprosessen, eksempelvis 3D-modellen eller spesifikke konstruksjonselementer. Organiseringsmodellen definerer alle menneskene og aktørene involvert i prosjektet, og hvordan disse kommuniserer seg imellom. Prosessen definerer aktiviteter og milepæler tilhørende prosjektet. Formålet med POP-modellen er å observere og simulere progresjon og ytelse i prosjektet for så å evaluere prosjektets produktivitet og verdi. POP-modellen beskriver de tre viktigste faktorene innen VDC som støtter implementering av teknologiske verktøy og metodikk. POP-modellen benyttes på flere måter av ulike aktører, noen eksempler på anvendelse er:

POP kategori	Eksempler / Verktøy	
Produkt	2D/3D BIM	4D BIM
Prosess	Fremdriftsplan og LPS	
Organisasjon	ICE - møtestruktur	BigRoom / iRoom

**TABELL 7: EKSEMPLER PÅ ANVENDELSE AV POP**

I tabellen presenteres de forskjellige POP kategorier som ulike verktøy og eksempler for anvendelse og VDC praksis. De ulike verktøy beskrives i separate delkapitler i oppgaven.

## 3.4.2 INTEGRATED CONCURRENT ENGINEERING – ICE

Aktører og interessenter involvert i et prosjekt har ulike behov, interesser og forretningsmål avhengig av fagdisiplin og tilhørighet. I tillegg opererer de forskjellige faggrupper i henhold til ulike standarder. Dette kan medføre motstridende perspektiver i prosjektet. Det er derfor viktig å involvere alle beslutningstakere i planleggingsprosessen slik at alle kan ytre sine perspektiv og erfaringer, samtidig som motstridende mål og hensikter blir kartlagt og løsninger fremstilt. På denne måten sikres god kommunikasjon og samhandling. [18]

ICE er en møteform basert på NASAs Jet Propulsion Laboratory (JPL) møtemetodikk, som ble utviklet på 1990-tallet. Ved bruk av denne møtemetodikken kunne JPL vise til kraftig redusert prosjekteringstid, lavere kostnader og økt kvalitet, sammenlignet med tradisjonell prosjektering. Denne møtemetodikken var derimot tilpasset romoppdrag, og kunne dermed ikke direkte overføres til byggebransjen. CIFE hadde som mål å utvikle en multi-disiplinær prosjektmodell som støttet effektiv tverrfaglig prosjektering og godkjenning. Basert på JPL-metoden formaliserte, utvidet, spesialiserte og implementerte CIFE møtestrukturen ICE i VDC praksis.



FIGUR 11: ILLUSTRASJON AV ICE-MØTE [20]

ICE-møter tar i bruk digitale hjelpemidler presentert på flere storskjermer i et møterom. Disse rommene blir ofte henvist til som Big Room, eller Interactive Room (iRoom). Alle relevante fagdisipliner involverte i prosjektet kan delta i møtet enten ved direkte tilstedeværelse eller ved kommunikasjon over internett, ettersom møtet foregår på en digital plattform. Dette skaper en svært åpen og effektiv kommunikasjon, hvor henvendelser og problemer med kan adresseres og beskrives direkte på datamodell. Dette medfører en raskere responstid og formidling av viktig informasjon. ICE møtet kan også kombineres med Last Planner System og prosjektmålinger for å kartlegge progresjonen og ytelser i prosjektet. ICE-metoden forsøker å eliminere de ikke-verdiskapende avsporinger, slik at oppmerksomheten kan rettes mot de

essensielle områder som tilfører verdi til prosjektet. Dette gjøres ved å eksempelvis belyse prosjektmål og hensikt, hvilke metoder som skal benyttes og hvilket vokabular som skal benyttes, i tillegg avvente avgjørelser til involverte aktører har kommunisert og klarert avgjørelsen. Ved manglende avsporinger kan prosjektering og analyse foregå raskere og prosjektteamets responstid reduseres.

#### 3.4.3 BIG ROOM/IROOM

Big Room ble utviklet av Stanford Computer Science Department, og er et møterom hvor digitale hjelpemidler anvendes i stor grad. Møterommet karakteriseres med flere storskjermer, hvorav en eller flere er interaktive skjermer, som presenterer informasjon for møtedeltakende. Big Room tilrettelegger for en integrerende prosjekteringsprosess med stor grad av tverrfaglig kommunikasjon [18]. Big Room er bredt anvendt i ICE-møter og involverer bruk av fremdriftsplaner, 3D-modeller, 4D-modeller, prosjektmålinger, etc. Hensikten med Big Room er ifølge CIFE å bidra til å forstå, akseptere og organisere kompleksiteten til et byggeprosjekt slik at en kan oppnå høy kvalitet og rask byggeprosess.

### 3.4.4 MÅLINGER

Målinger er en essensiell del av VDC rammeverket. Målinger kan eksempelvis brukes til å overvåke prosjektets prosesseffektivitet, progresjon, grad av suksess og forutse utfall. Det finnes en rekke målingsverktøy slik som: [18]

Målinger	Beskrivelse
<i>Prosent-Planlagt-Utført (PPU)</i>	Prosentandel planlagte aktiviteter utført i henhold til planlagte aktiviteter i prosjektplanen
<i>Responstid</i>	Tid mellom en forespørsel utstedes til et nyttig respons mottas
<i>Beslutningstid</i>	Tid mellom informasjon er mottatt til avgjørelse besluttet
<i>Detaljert kostnadsoverensstemmelse</i>	Prosentandel av estimerte kostnader som er innen 2% av kostnadsrammen for budsjetterte kostnader
<i>Sikkerhet</i>	Antall rapporterte ulykker, mulige ulykker og nestenulykker
<i>Kundetilfredshet</i>	Rapportert kundetilfredshet i skala 1-5, hvor 1 er lav og 5 høy
<i>Møteeffektivitet</i>	Beskrives med <b>DEEPAND</b>

TABELL 8: VDC MÅLINGER

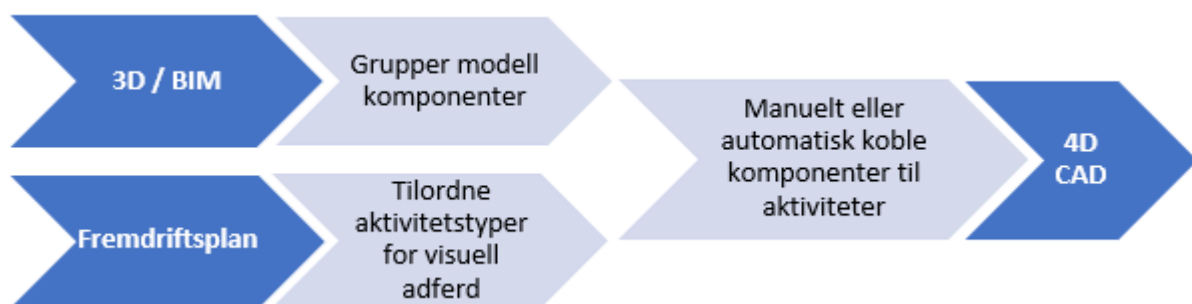
**DEEPAND** er en metode for å analysere effektiviteten i tverrfaglige møter [1]. DEEPAND står for: *Description, Explanation, Evaluation, Prediction, Alternative formulation, Negotiation and Descision making*. Dette kan direkte oversettes til: Beskrivelse, Forklaring, Evaluering, Forutsigelse, Alternativ formulering, Forhandling og Avgjørelser. Dette verktøyet tilfører evnen til å måle effektiviteten til møter gjennom å klassifisere diskusjonen i et møte, som en av DEEPAND aktivitetene. Dette hjelper prosjektteamet fokusere på aktivitetene som tilfører verdi kontra å bruke tid på unødvendige beskrivelser og forklaringer. Effektiviteten måles ved å kartlegge hvor mye tid som brukes til å diskutere de relevante aktiviteter i henhold til målingene.

### 3.5 4D BIM

4D-modellen tilfører tid som en ekstra dimensjon i 3D-modellen. Ved å integrere tid, kan komponenter i 3D-modellen kobles til fremdriftsplanlegging innen prosjektering, anskaffelse og byggeprosess [21]. Med dette økes informasjonsmengden samtidig som avhengige sekvenser belyses, dette skaper en intuitiv og forståelig visualisering av både produktet og prosessen i et prosjekt i henhold til POP-modellen. Dette bidrar til en mer effektiv byggeprosess og en forenklet beslutningsprosess ettersom prosjektdeltakende enklere kan se rekkefølgene på alle komponenter tilknyttet 3D-modellen.

4D BIM bygges opp av en 3D-modell utarbeidet i eksempelvis Revit Structure, fremdriftsplan utarbeidet i MS Project, og kombineres i et 4D-modelleringsverktøy som f.eks. Synchro Pro. Ved å tilføre tid som en ekstra dimensjon, kan byggeprosessen visualiseres i sanntid som en animasjon eller video i henhold til fremdriftsplanen [11]. Dette tydeliggjør kollisjoner og fallgruver som ikke identifiseres gjennom bruk av tradisjonelle metoder som CPM og Gantt [22], samtidig som avhengige prosesser og aktiviteter belyses. 4D animasjonen tilfører også muligheten for å sjekke status til et pågående byggeprosjekt til enhver tid i fremdriften.

I de fleste tilfeller er de innhentede dataene fra 3D-modellene begrensede i form av minimale enheter eller egenskaper som eksempelvis identitet, mål, farge etc. og gruppert i henhold til et fastsatt hierarki. Disse komponentene blir videre koblet til aktiviteter i fremdriftsplanen og assosieres med visuell adferd. *Figur 12* herunder viser prosedyren for å utvikle en 4D-modell ved hjelp av et spesialisert 4D programvare [11].



FIGUR 12: PROSEDYRE FOR UTVIKLING AV 4D-MODELL [11]

### 3.5.1 BRUKERGRENSESNITT

Per dags dato finnes det en rekke kommersielle programvarer spesialisert på 4D BIM. Brukergrensesnittet i programvaren skal være oversiktlig og støtte brukeren av programmet. Brukeren skal ha muligheten til å organisere, koble, kontrollere og se konstruksjonens helhet på en enkel, intuitiv og visuell måte [21]. Programvaren strukturerer bygningsseksjoner, fremdriftsplan og aktiviteter hierarkisk i prosjektet, noe som resulterer i en manøvrerbar og oversiktlig brukeropplevelse. Man kan selektere hvilke elementer, aktiviteter og tidsrom skal vises, og kan dermed effektivt og målrettet søke inn mot konkret informasjon i byggeprosessen.



FIGUR 13: ILLUSTRASJON AV BRUKERGRENSESNITTET TIL 4D BIM UTVIKLET I SYNCHRO PRO [23]

Figur 13 viser et typisk brukergrensesnitt til en 4D-modell. Modellen er utviklet i Synchro Pro gjennom å fusjonere en 3D BIM med en fremdriftsplan. Den øvre oppgavelinjen viser flere verktøy og funksjoner for å redigere og styre modellen. Fremdriftsplanen og Gantt-diagrammet vises direkte over den visuelle modellen, og seksjonerte bygningsdeler er plassert i øvre venstre hjørne. Mer detaljert informasjon om brukergrensesnitt og anvendelse av Synchro Pro presenteres *kapittel 4.3.3*

### 3.5.2 FORDELER OG BEGRENSNINGER

#### **FORDELER [11] [21]**

- Fremstår som intuitiv og oversiktlig for alle prosjektdeltakende.
- Forenkler tverrfaglig kommunikasjon gjennom effektiv visualisering av produkt og prosess.
- Øker prosjektdeltakende og interessenters innflytelse på prosjektet.
- Effektiviserer logistikk og anskaffelser under byggeprosessen.
- Forenkler arbeidsformidling og koordinering i henhold til forventet tid og progresjon.
- Enkel evaluering av fremdriftsplaner i henhold til faktisk progresjon.
- Enklere å identifisere og formidle forbedringer innen utførelsesstrategi, progresjon, byggbarhet og tid-rom konflikter.
- Høy grad av detaljer, spesifikasjoner og kommunikasjon medfører en redusert risiko for uforutsette endringer med opptil 40% - 90 %.
- Medfører økt produktivitet og kredibilitet i henhold til fremdriftsplan og prosjektledelse teamet.

#### **BEGRENSNINGER [11]**

- Kan kreve høyt detaljnivå og spesifikasjoner i henhold til BIM-modell og fremdriftsplan for å oppnå et tilfredsstillende resultat.
- Relativt store kostnader tilknyttet utvikling og oppfølging av 4D-modell.
- 4D BIM kan være tidkrevende å utvikle.
- Menneskelige feil kan oppstå ved integrering av modell, noe som kan være vanskelig å identifisere.

### 3.5.3 DETALJNIVÅ

Detaljnivå er avhengig av prosjektets og modellens størrelse, tidsforløpet og hva slags kritiske aktiviteter som må formidles. Det er også avhengig av fagdisiplinen som skal benytte seg av modellen, ettersom de ulike aktører har forskjellige behov og formål i henhold til detaljnivå og fokusområde. Eksempelvis vil en arkitekt inneha et større behov for detaljert fasadesystem for å oppnå ønskelig visualisering, mens en entreprenør ønsker å representere dette systemet som et enkelt element, fordi dannelsen av detaljerte byggesekvenser er i større fokus. Ettersom bygningsdeler og elementer må kobles til fremdriften er det hensiktsmessig å ha et tilstrekkelig detaljnivå som beskriver tydelig hva som skal gjøres, når det skal utføres, hvor lang tid prosessen tar og hvilken bygningsdel/seksjon eller aktivitet det representerer [11]. En spesifikk



byggningsdel kan kreve flere aktiviteter og prosesser for å fullføres, eksempelvis kan et plassstøpt betongdekke være avhengig av blanding av betong, forskalingsarbeid, plassering av armering, utstøpning og herdetid. Det er derfor viktig å klarere et visst detaljnivå før oppstart, som klarer nødvendige aktiviteter tilknyttet de spesifikke elementer.

## 3.5.4 RETNINGSLINJER FOR BRUK AV 4D BIM

Herunder nevnes en del retningslinjer som bør evalueres for bruk av et 4D-verktøy: [11]

- *Importeringssevne av BIM:* Hva slags geometriske utforminger og BIM formater som brukere kan importere.
- *Importeringssevne av fremdriftsplaner:* Hvilke filformater som verktøyet kan importere. Er programmet kompatibelt med filformatet, og kan plandata uthentes effektivt?
- *Fusjonering og oppdatering av 3D BIM:* Kan brukeren sammenslå flere filer til en enkel modell, og eventuelt oppdatere deler av modellen?
- *Reorganisering:* Kan data enkelt reorganiseres etter importering? Dette vil bidra til å effektivisere og fremskynde modelleringsprosessen.
- *Midlertidige komponenter:* Kan bruker tilføre midlertidige komponenter som kraner, utgravningsområder og lagringsplasser til 4D-modellen. Ofte må brukeren selv modellere disse komponentene, så det er fordelaktig at 4D-programmet har et eksisterende bibliotek slike komponenter.
- *Animasjon:* Kan programmet simulere detaljerte komponentoperasjoner, eksempelvis kranbetjening. Noen programmer kan visualisere bevegelse i prosessen over tid i form av et videoformat.
- *Analyse:* Har programmet analyseverktøy som kollisjonstester?
- *Uttak:* Kan brukere foreta enkle uttak av skjermbilder fra spesifikke tidsperioder i byggeprosessen, eller skape videosnutter over et definert tidsrom? Denne slags informasjon er en god visualisering som kan brukes til å kommunisere med andre prosjektdeltakende.
- *Automatisk kobling:* Kan brukere benytte automatisk kobling av bygningskomponenter til fremdriftsplanen?



### 3.5.5 PROGRAMVARER

#### **AUTODESK NAVISWORKS SIMULATE**

Navisworks er 4D-verktøyet som støtter flest BIM formater og tilbyr den beste visualiseringsevnen blant de tilgjengelige kommersielle programmene som anvendes i dag [11]. Programmet støtter både automatisk og manuell kobling mellom importerte BIM-elementer og fremdriftsplaner, men manuell kobling er derimot ikke veldig brukervennlig. Navisworks har en dypere integrering av modellen gjennom BIM 360 Glue, som gir en «skytilkobling», noe som forenkler deling av data mellom samarbeidende aktører involvert i byggeprosjektet. Dette programmet kan også lage modeller med detaljnivå opp til 5D, som integrerer kostnader i modellen [24].

#### **SYNCHRO PRO**

Synchro Pro er et kraftig 4D-verktøy som har det mest sofistikerte planleggingssystemet av tilgjengelige programmer. Planleggingssystemet krever derimot mye forkunnskaper innen prosjektledelse og fremdriftsplanlegging for å kunne benytte systemet i sin helhet, ettersom systemet inkluderer innebygde verktøy som risikoanalyse og ressursbruk i tillegg til 4D visualisering. Synchro Pro er kompatibel med en rekke BIM- og planleggingsformater. Elementer kobles direkte gjennom et visuelt grensesnitt til fremdriftsplanen, og støtter et toveis oppdateringssystem som synkroniserer BIM og fremdrift [11]. Ytterligere programvare karakteristikk utledes i *kapittel 4.3.3*.

#### **PROGRAMVARE BENYTTET I OPPGAVEN**

Basert på tilgjengelighet og retningslinjene for valg av 4D-verktøy har det blitt fastsatt å studere Synchro Pro som 4D-programvare i denne masteroppgaven. Synchro ltd. har i tillegg en opplæringsportal som bidrar til en grunnleggende innføring i programvaren. Dette medfører at det enklere kan undersøkes karakteristikk og funksjoner tilhørende programvaren på et mer personlig nivå.

## **4.0 RESULTATER**

### **4.1 BRUK AV VDC OG 4D BIM I BRANSJEN**

Intervju ble benyttet som metode for å sikre et innblikk i bransjens ulike tolkninger og bruk av VDC og 4D BIM, dermed vil store deler av resultatene baseres på de utvalgte nøkkelpersoners erfaringer og forventninger innen emnet. Pga. valgte metoder for innhenting av data, samt tidsrestriksjoner ifølge oppgaven, har det blitt intervjuet et begrenset antall personer, men som har en del kunnskaper innen feltet. Det er også blitt selektert kandidater som representerer et mangfold av bransjens aktører deriblant byggherre, konsulent, entreprenør og produsent. Dette er for å kartlegge de ulike aktørers tolkninger og holdninger til emnet, og på denne måten sikre et helhetlig innblikk i bransjens status og kompetanse innen bruk av VDC og 4D. Konkret informasjon om VDC rammeverk o.l. er i tillegg innhentet gjennom presentasjoner utført av intervjukandidatene og/eller andre personer tilhørende bedriften. Det tas forbehold om at intervjukandidaten presenteres som en representant for bedriften og aktør, resultater baseres på denne personens besvarelser, og det er sannsynlig at det kan finnes motstridende eller uenige parter enten innad i bedrift og/eller blant aktørkategorien. Resultatene vil allikevel fungere som en indikator for bransjens status iht. bruk av VDC og 4D BIM.

#### 4.1.1 MULTICONSULT – KONSULENT

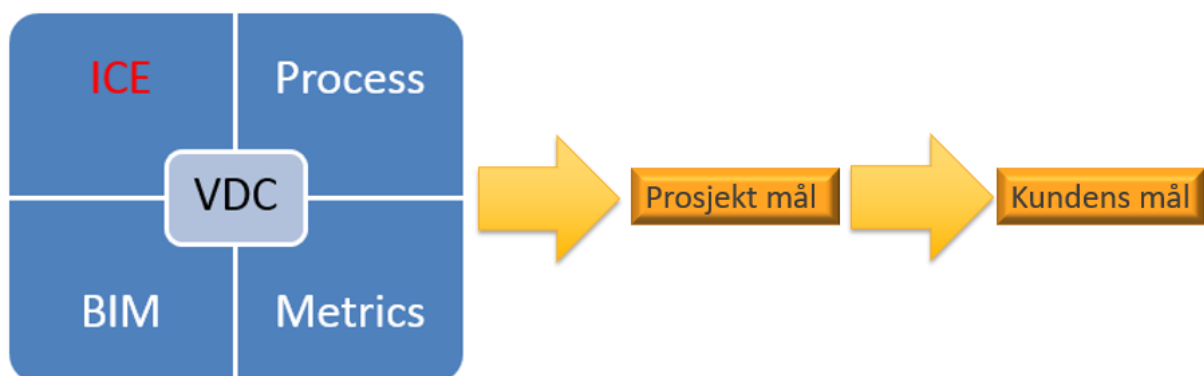
# Multiconsult

FIGUR 14: FIRMALOGO MULTICONSULT [25]

Multiconsult er et av Norges og Skandinavias ledende konsulentfirma innen arkitektur, teknisk rådgivning og prosjektering [25]. Bedriften har røtter tilbake til 1908 og har hele 2500 ansatte. Multiconsult er en av byggebransjens pådrivere innen innovasjon og utvikling, med satsingsområder som VDC og BIM. Hvert år kurses og sertifiseres flere ansatte innen VDC, som bruker dette til å modernisere og effektivisere bedriftens utførelsesstrategi, samt til opplæring av medarbeidere innad i bedriften. Dette øker integreringsevnen av rammeverket samtidig som innovasjon dyrkes.

##### 4.1.1.1 VDC

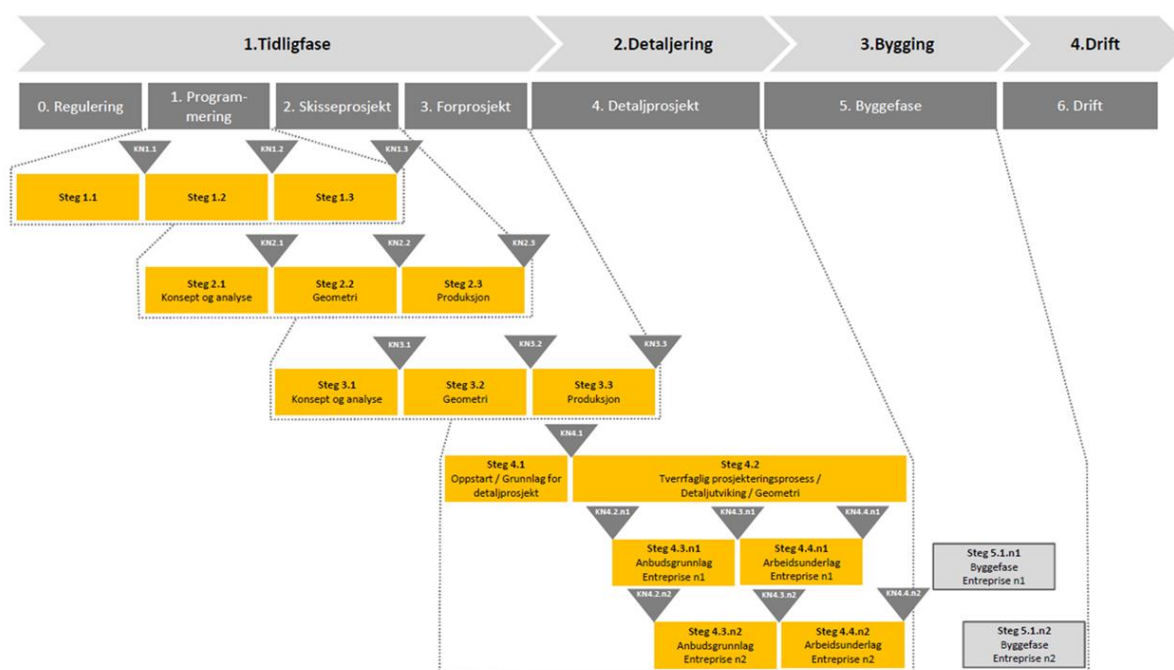
Multiconsult benytter seg av et typisk VDC rammeverk som baserer seg tett på Martin Fischer og John Kunz definisjon. Rammeverket anvendes for å systematisere planleggingsprosessen, gjennom strukturert bruk av eksisterende verktøy som BIM, fremdriftsplanlegging, ICE, målinger, LPS og Big Room. Disse verktøyene har som hensikt å bidra til å imøtekomme prosjektmål og kundens mål, gjennom effektivisert prosjektgjennomføring og en forbedret produktkvalitet. I *figur 15* herunder representeres Multiconsults overordnede VDC rammeverk, med hovedtyngde på ICE møtemetodikk, aktiv bruk av BIM, målinger og prosess gjennom den selvutviklede modellen for prosjektgjennomføring [26].



FIGUR 15: MULTICONSULT VDC RAMMEVERK [26]

## PROSJEKTGJENNOMFØRINGSMODELL

Gjennom flere år i bransjen og med inspirasjon fra VDC har Multiconsult utviklet en generell prosjektgjennomføringsmodell som i grunnprinsipper baseres på Lean Construction og Lean Project Delivery System. Grunnlaget til gjennomførelsesmodellen har blitt utarbeidet i samarbeid med CIFE, og videreutvikles kontinuerlig [27]. Dette er en generell modell som beskriver prosjekters forskjellige faser og kronologiske sammenheng. Ettersom et hvert prosjekt er unikt følges ikke gjennomføringsmodellen til punkt og prikke, men er mer ment som en veileder for hvordan prosessen bør foregå. Denne modellen brukes på tvers av avdelingskontor i hele landet. Gjennomføringsmodellen presenteres i *figur 16* herunder.



FIGUR 16: PROSJEKTGJENNOMFØRINGSMODELL MULTICONCONSULT [26]

I tillegg til den grafiske fremstillingen av prosjektgjennomføringsmodellen er det et tilhørende mappesystem som inneholder forskjellige steg, sjekkpunkter, faser og tverrfaglige beskrivelser for konkrete arbeidsoppgaver som skal utføres under de forskjellige fasene, deriblant analyser, beregninger og dokumentleveranser. Alle ansatte ved Multiconsult har tilgang til mappesystemet, noe som fremmer samkjøring mellom fagdisiplinene. Dette er spesielt effektivt ved prosjekter hvor bedriften formidler flere av fagdisiplinene, men kan være problematisk ved samarbeid med utenforstående aktører. Denne modellen fungerer som en automatisering av planleggingsprosesser iht. automatiseringsfasen i VDC definisjonen.

## MØTESTRUKTUR

Multiconsults avdelingskontor i region Stavanger har anlagt to møterom som er fungerende Big Room/ iRoom. Det forsøkes i disse dager å implementere dette som et standardisert møterom, på tvers av alle avdelingskontor. Møterommet struktureres med formål å inkludere alle prosjektdeltakende på en effektiv måte som bidrar til økt grad av engasjement og diskusjon i møter [28]. Dette gjøres ved å plassere bord i en hestesko rettet mot projektorlerret og en interaktiv skjerm. Stavangeravdelingen anbefaler å bruke ProWise som en standard interaktiv skjerm, ettersom denne ikke krever lisens for bruk, og er et godt og brukervennlig alternativ. Datamodellen presenteres i sin helhet på lerretet og manøvreres gjennom programvaren fra en datamaskin, viktige knutepunkter o.l. blir så uthentet og overført til den interaktive skjermen, hvor deltakere kan markere og forklare sine utfordringer og/eller foreslåtte endringer. Personer som ikke befinner seg på lokalet deltar gjerne gjennom Skype konferansefunksjoner, og har mulighet til å få kontroll over datamodellen under sesjonen, noe som gjør at de kan ta del i diskusjonen i større grad. Møterommene er rigget med utstyr spesialisert for eksterne konferansedeltakere, slik som høyttalere og mikrofoner, som fordeles utover møterommet (ikke avbildet). Denne form for møtestrukturering er inspirert av ICE prinsippene for tverrfaglig samhandling. *Figur 17* viser strukturering av Big Room, og en aktiv møtesesjon.



FIGUR 17: ILLUSTRASJON AV BIG ROOM (V.S.), MØTEGANG I MULTICONSULT (H.S.) [26]

## MÅLINGER

Multiconsult benytter seg av målinger som et VDC-verktøy. Typiske målinger som brukes er møteeffektivitet, forberedelse og kvalitet. Disse målingene blir foretatt etter hvert enkelt møte og presenteres som grafer. Disse grafene blir formidlet til alle prosjektdeltakende slik at eventuelle utbedringer kan foretas til neste møte. Ofte presenteres målingene også under møte for å fremme forbedringer eller anerkjenne godt arbeid [28]. Målingene har vist seg å spesielt øke enkeltpersoners klargjørelse til møter, ettersom målingene fører til at fraværende forberedelser blir oppdaget. Manglende forarbeid kan føre til et mer ineffektivt møte, hvor større grad av irrelevant informasjon som formidles.

## THE LAST PLANNER METHOD

LPS blir benyttet av Multiconsult i enkelte prosjekter, men er fortsatt ikke brukt til sitt fulle potensiale. Ettersom Multiconsult er et konsulentfirma er ikke LPS direkte tilpasset den normale arbeidsmetodikken, men er mer tilpasset entreprenører og den utførende part. Det vil si at LPS er først og fremst nyttig for personene som utfører arbeidet og personer direkte tilknyttet planlegging og utførelse av produksjon. Hvor et konsulentfirma hovedsakelig er tilknyttet prosjekteringsfase, ikke vil få fullt utnytte av alle funksjoner til LPS. Det anses allikevel som et svært nyttig verktøy som brukes ved fremdriftsplanlegging. Dette har vist seg å fungere veldig bra i henhold til leveranser og aktiviteter som er avhengig av hverandre for å nå mål.

## ERFARINGER VED IMPLEMENTERING

Multiconsult har ingen kvantifiserbare data på at VDC faktisk fungerer, men Bjørg Egeland, Rådgivende ingeniør (MSc.) i Multiconsult, mener at det medfører et bedre system og en større forståelse for prosjektet, samtidig som en lærer mye om andre fag. Hun forventer også at det kan medføre en redusert tidsbruk, pengebruk og tid brukt til omprosjektering. Når det kommer til ulemper med VDC mener Egeland at selve begrepet er svært omfattende og burde ha en litt klarere avgrensning, ettersom dette gjør opplæringsprosessen mer kompleks, samt at implementering blir mer tidkrevende.

#### 4.1.1.2 4D BIM

Per dags dato er ikke 4D BIM særlig benyttet i Multiconsult, men Egeland mener at det er absolutt av interesse. Egeland har tidligere benyttet en enklere «versjon» av 4D, gjennom bruk av tidslinje og snapshots av 3D-modell for å beskrive en byggeprosess for interessenter tilknyttet et ombyggingsprosjekt. Interessentene kunne da enklere forstå prosessen og ble beroliget av dette. Hun nevner at 4D trolig er mest fordelaktig for aktører innen produksjon eksempelvis entreprenører, men ser absolutt nytten av 4D for konsulenter også. Egeland mener at implementering av 4D BIM kan [27]:

- *«Styrke en konsulents kontakt med byggeplass», mulighet til å lære mye.*
- *Øke kommunikasjonen mellom prosjektdeltakende.*
- *Øke prosjektgjennomsiktighet.*
- *Bidra til en mer kontrollert planlagt fremdrift i forhold til utført arbeid.*
- *Redusere omfang av omprosjektering.*
- *Oppdage feil i planleggingsfase kontra byggefase.*
- *Øke forutsigbarheten og eliminere uforutsette hendelser.*
- *Være svært pengebesparende.*

Egeland mener at detaljgraden til en 4D-modell avhenger av prosjektet, men nevner at generelt sett er det positivt med høyest mulig detaljgrad, forutsatt at informasjonen er nødvendig for brukeren. De enkelte prosesser/arbeidsoppgaver trenger nødvendigvis ikke å detaljeres, men at tidspunkt og frister for utførelse er særlig viktig. Egeland konstaterer at 4D BIM har en enorm potensiell verdi og er absolutt verdt forarbeid, kostnader og tidsbruk, forutsatt at modellen benyttes aktivt i prosjektgjennomførelsen.

## 4.1.2 KRUSE SMITH – ENTREPRENØR

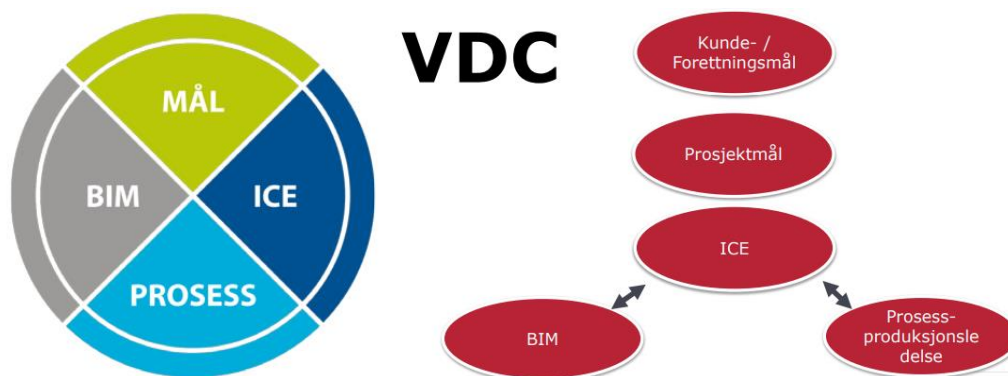


FIGUR 18: FIRMALOGO KRUSE SMITH [29]

Kruse Smith er et av Norges største entreprenørfirma innen bygg, byggfornyelse, anlegg, samt bolig- og eiendomsutvikling. Med rundt 900 ansatte og røtter tilbake til 1935, er Kruse Smith et erfarent og mangfoldig firma, med et stort fokus på innovasjon og utvikling. Bedriften er blant de ledende aktører innen bruk av VDC og BIM, og fremstår som en pådriver innen utvikling, foredling og realisering av nye og innovative løsninger i bransjen [29].

## 4.1.2.1 VDC

Kruse Smith benytter VDC som en metode for prosjektgjennomføring. Rammeverkets utforming presenteres i *figur 19* [30]. Figuren viser bedriftens planleggingsstruktur i hovedtrekk, hvor prosjektmål, kunde-/ og forretningsmål er det overordnede fokus. Som undergrupperinger av disse mål har bedriften et spesielt fokus på fire delmål for prosjektleveranse bestående av å bygge etter; *Tid, kost, kvalitet og HMS*. I henhold til CIFE VDC «mal» benytter Kruse Smith seg også av de tre eksplisitte delmål for effektiv prosjektstyring; *Kontrollerbare faktorer, Målbare parametere for prosessytelse og Målbare resultater fra prosjektmålsettinger* (se kapittel 3.4). For å oppnå mål og delmål har bedriften en verktøykasse bestående av BIM, ICE og prosess. BIM anses som en fundamental bærebjelke i VDC og er i høyt fokus under planlegging- og byggeprosess. I tillegg benyttes særlig ICE som prosjekteringsmetodikk, og utføres gjennom en mer strukturert møtegang inkluderende Big Room og samling av beslutningstakere. Det finnes en rekke spesifikke verktøy som benyttes som planleggingsverktøy, men anvendelsen av disse varierer i henhold til prosjektet, ettersom et hvert prosjekt er unikt. Det konstateres dermed at det ikke finnes et fastsatt rammeverk, men at dette tilpasses prosjektets natur.

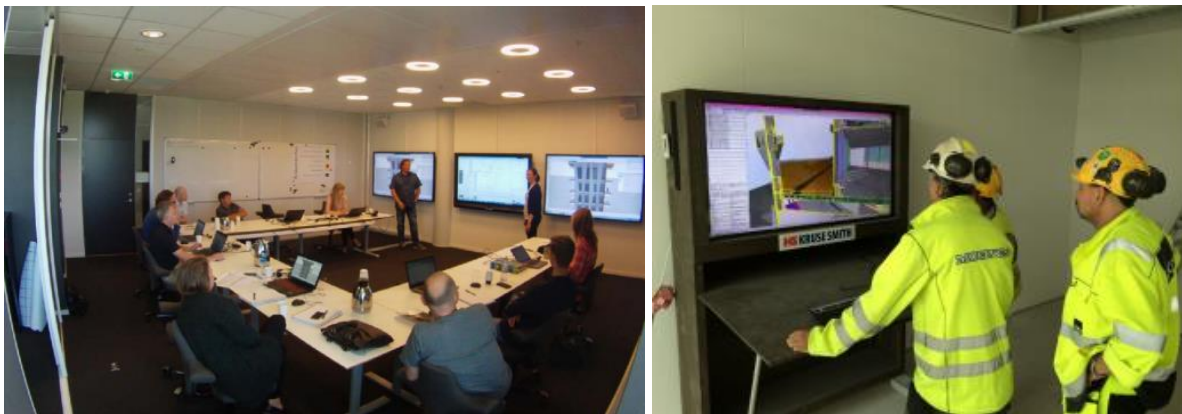


FIGUR 19: KRUSE SMITH VDC RAMMEVERK [30]



## MØTESTRUKTUR

Som nevnt benyttes ICE prosjekteringsmetodikk aktivt i Kruse Smith, dette innebærer en forbedret møtestruktur med større fokus på agenda, effektiv møtegang, måling av møter og samling av beslutningstakere for å fremme kommunikasjon, raskere beslutningstid og økt kvalitet. Møter foregår hovedsakelig i et Big Room som inneholder en velstrukturert bordplassering i hestesko, en interaktiv skjerm/Smartboard og datamaskin tilkoblet BIM som presenteres på prosjektorlerret. I flere prosjekter benyttes også The Last Planner Method aktivt. Møtene foregår på en tilnærmet lik måte beskrevet under møteprosess i Multiconsult (*kap. 4.1.1*). *Figur 20* viser et typisk ICE møte i Big Room. ICE møtemetodikk har også blitt integrert på anlegg/arbeidsplass, hvor prosjektdeltakende har tilgang på både etablerte Big Room og BIM-stasjoner.



FIGUR 20: KRUSE SMITH ICE-MØTE (V.S.), BIM-STASJON (H.S.) [30]

## MÅLINGER

Kruse Smith benytter seg av en rekke type målinger, deriblant møte kvalitet, Prosent Planlagt/Utført (PPU), etc. Det konstateres at det ikke er standardiserte målinger, men at de overnevnte benyttes ofte. PPU anvendes for å måle flyt og fremdrift blant de kontrollerbare parametere i hverdagen. Basert på erfaring tilsiktes det en PPU verdi på 80 – 95% for å ha god flyt og fremdrift, mens til referanse anses 100% for en for lite aggressiv planlegging, mens under 80% medfører en for liten forutsigbarhet i planen.

## THE LAST PLANNER SYSTEM

The Last Planner System er et planleggingsverktøy som er spesielt tilpasset produksjon og benyttes aktivt i flere av Kruse Smiths prosjekter. LPS brukes for å systematisk strukturere arbeidet som pågår på arbeidsplassen, gjennom bruk av plannivåer og prinsipper beskrevet i *kapittel 3.3.2*. Kruse Smith benytter seg av prinsippene tilhørende definisjonen av LPS, som ble utviklet av Ballard. Dette inkluderer bruken av «Reliable promises» og Post-it lapper i planleggingsprosessen [31].

## AUTOMATISERING

Kruse Smith har også tatt i bruk automatiseringsdelen av VDC. Et eksempel på anvendelse er ved bruk av robot på byggeplass for å oppta enkle og repetitive arbeidsoppgaver. Dette har blitt brukt til boring av oppheng i betong, noe som er svært effektivt og tidsbesparende. Roboten blir programmert til å bore hull i henhold til BIM, og kan utføre prosessen kontinuerlig. Dette er kun en marginal del av byggeprosessen, og bidrar trolig til «promiller» i kostnadsreduksjoner tilknyttet byggeprosjektet [32]. Dette viser allikevel potensialet ved integrering av automatiserte prosesser.



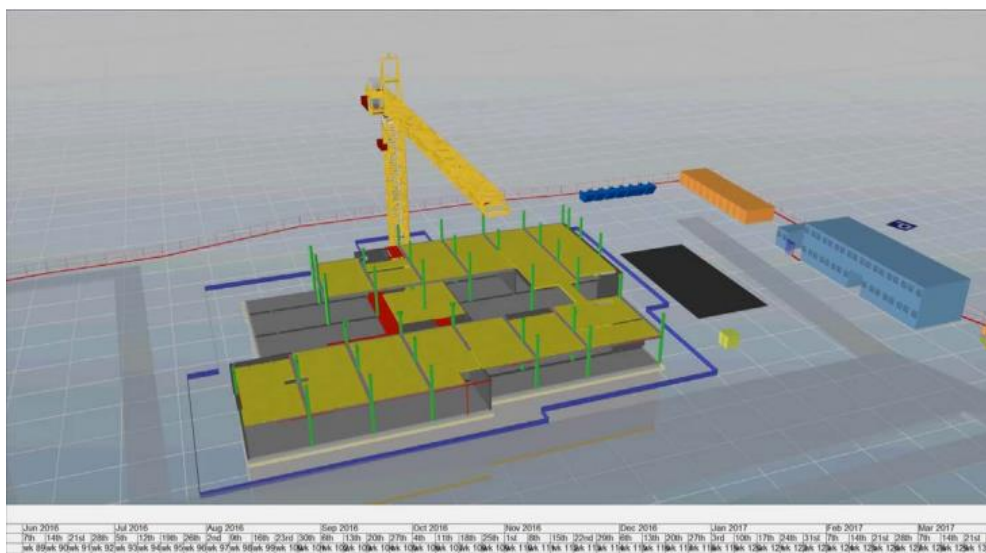
FIGUR 21: BRUK AV ROBOT PÅ BYGGEPLASS [30]

## ERFARINGER VED IMPLEMENTERING

I følge Kruse Smith har implementering av VDC som utførelsesstrategi medført en bedre og mer gjennomtenkt planlegging av møter og arbeid, samt en generelt bedre gjennomføring av prosjekter. VDC har også tilført en mer forutsigbar arbeidsprosess, hvor eksisterende verktøy benyttes på mer strukturert måte. Utførelsesstrategien har også medført en økt kundetilfredshet, og flere profesjonelle kunder ønsker at det skal anvendes i prosjektene. VDC har også bevist å være såpass effektivt og gunstig at ledelse og eiere ønsker å satse på det, uten at det eksisterer noen kvantifiserbare verdier som tilsier at det er mer effektivt enn tradisjonelle metoder. Gunnar Skeie, Utviklingsleder BIM i Kruse Smith, mener at det er svært få ulemper, men understreker at: *«all endring er vanskelig, og det kreves en større motivasjon for å tilføre endringer, men hva er alternativet?»* [32].

### 4.1.2.2 4D BIM

Kruse Smith har vært tidlig ute med å benytte 4D BIM både i utvikling og ved praktisk bruk i prosjekter, og anser dette som et strategisk satsningsområde. Her skiller de spesielt mellom praktisk anvendelse og *«Hollywood BIM»* [32]. Bedriften tilsikter å bruke 4D BIM som et verktøy for en bedre og mer strukturert planleggingsprosess. Figur 22, viser en 4D-modell anvendt i et reelt prosjekt [30].



FIGUR 22: 4D BIM UTVIKLET AV KRUSE SMITH

Bedriften har testet ulike 4D programvarer, og har konkludert med at Synchro Pro er det beste alternativet per dags dato. I følge Skeie kan bruk av 4D visualisering potensielt bidra til:

- *En bedre forståelse for planen.*
- *Å verifisere plan opp mot byggbarhet.*
- *Økt kommunikasjon, ettersom 4D visualisering er mer forståelig enn Gantt-diagrammer.*
- *Å kvantifisere hva som er planlagt, måle hva som blir bygd hver dag og måle prestasjoner fra dag til dag.*
- *Enklere identifisering av feil og logiske brister.*
- *Økt gjennomsiktighet, lettere å forstå hva som foregår i prosjektet.*
- *Økt forutsigbarhet i prosjektet.*
- *Identifisering av endringer før byggeprosessen starter.*

Når det kommer til detaljnivå til en 4D-modell, mener Skeie at en bør finne en mellomting av grovt grunnlag og ekstrem detaljering, en bør ha en modell som er fleksibel nok til å ta variasjon, samtidig som visualiseringen bør være beskrivende nok til å forutse et problem eller en utfordring. Skeie mener at 4D BIM er absolutt verdt forarbeid, kostnader og tidsbruk, og at det er en mye bedre og mer forståelig fremstilling av prosjektplanen enn et tradisjonelt Gantt-diagram. Han nevner også at tilbakemeldinger fra kunder har vært svært positive. Skeie anbefaler bruken av 4D BIM som et verktøy for prosjektplanlegging.

#### 4.1.3 CONSOLIS SPENNCON – PRODUKSJON / PREFABRIKKERING



FIGUR 23: FIRMALOGO CONSOLIS SPENNCON [33]

Spenncon er en norsk leverandør av prefabrikkerte betongelementer med over 500 ansatte og ble etablert i 1961. Bedriften har blitt oppkjøpt av Consolis, som er en av verdens ledende aktører innen feltet. Consolis Spenncon bidrar i hele verdikjeden til moderne bygg, fra produktutvikling og produksjon til montasje av råbygg. Bedriften har et stort fokus på innovasjon og utvikling av produkt og produksjonsprosesser [33].

##### 4.1.3.1 VDC

Spenncon driver hovedsakelig med produksjon og montasje av prefabrikkerte betongelementer, og har ikke en egen prosjektledelsesavdeling. Bedriften har dermed ikke hatt særlig behov for å implementere et personlig VDC rammeverk. De har derimot klargjort for samarbeid med bedrifter som benytter seg av en slik utførelsesstrategi.

##### 4.1.3.2 4D BIM

Spenncon jobber i disse dager med utvikling av nye løsninger innen bruk av 4D og 5D BIM [34]. 4D BIM er fortsatt i utviklingsfasen i bedriften og er ikke enda implementert i planleggingsprosessen eller utførelsesstrategien. Ettersom bruken av 4D fortsatt er under utvikling i bedriften har ikke spesifikke 4D programvarer blitt benyttet enda, men det er brukt 3D BIM utviklet i Tekla Structures og fremdriftsplaner i Excel fra egen database, til å produsere «snapshots» av statuser tilknyttet seksjoner eller deler, som representeres med fargekoder tilknyttet fremdriftsplanen. Solveig Gedde-Dahl, Konstruksjondirektør i Spenncon har ambisiøse mål for bruken av 4D og har skyhøye forventninger i henhold til både produksjon og montasje. Hun forventer at 4D kan bidra til:

- *En effektivisert og forenklet arbeidsprosess.*
- *En mer standardisert planleggingspraksis.*
- *En mer transparent planlegging, øker forståelighet og tilgang på informasjon for alle i verdikjeden.*
- *Å redusere ventetid på nødvendig informasjon som medfører raskere beslutninger.*
- *Å redusere feil under prosjektering betydelig.*
- *Effektivisert kommunikasjon, spesielt mellom planlegging og produksjon, som gir godt grunnlag for montasje.*
- *Større forutsigbarhet i hele verdikjeden.*

Gedde-Dahl mener at detaljnivået til en 4D-modell bør holdes så enkelt som mulig, ikke ha for høy detaljering, ha en enkel visuell modell som er lett å forstå og har et større fokus på viktige milepæler og datoer [34]. Dette kommer av at datoer, milepæler og statuser på elementer er særlig viktig i verdikjeden. Gedde-Dahl anbefaler bruken av 4D BIM som et godt alternativ til prosjektplanlegging.

#### 4.1.4 KRISTIANSAND EIENDOM – BYGGHERRE



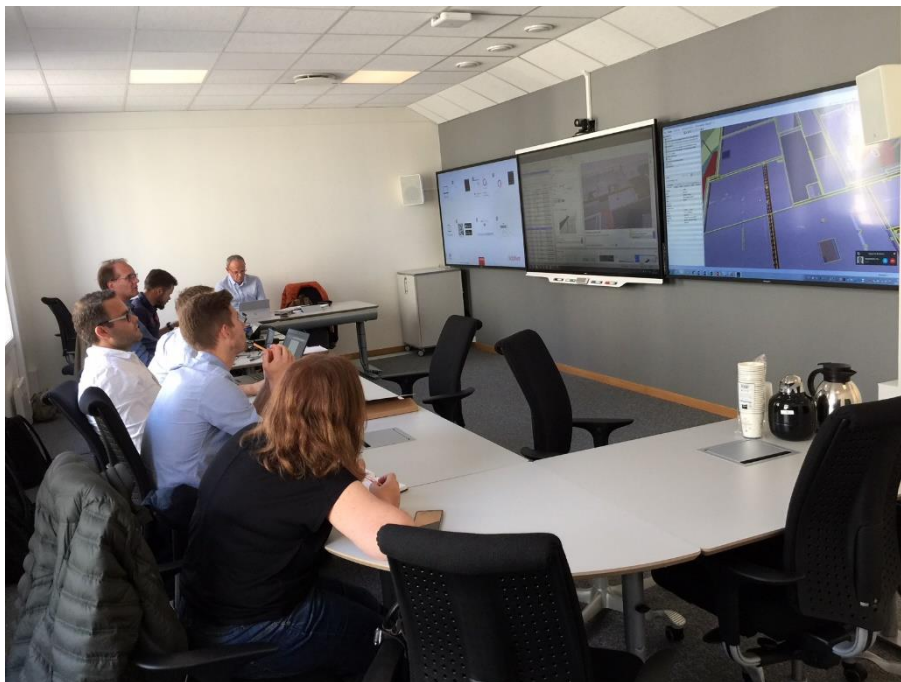
FIGUR 24: LOGO KRISTIANSAND KOMMUNE [35]

Kristiansand Eiendom (KE) er kommunens tekniske faginstans, bestående av totalt 227 ansatte. KE består av tre avdelinger; Byggservice, bygg- og eiendomsavdelingen - prosjekt og administrasjonsavdelingen. Disse avdelingene bedriver kjøp og salg av eiendommer, tilrettelegging for bolig- og næringsområder, renhold, administrasjon, vaktmestertjenester, vedlikehold, styring av energisparing i stor skala og prosjektering og byggeledelse av nye bygg.

##### 4.1.4.1 VDC

Kristiansand eiendom er en offentlig byggherre som ønsker å bidra til å trekke bransjen fremover. Prosjektleder Judith Karin Gamman forteller at KE er innforstått med mange verktøy og metoder under VDC fanen, uten å være familiære med de spesifikke begreper. Gamman nevner at sertifiseringer og begrep ikke er det essensielle, men er mer opptatt av hva som faktisk blir utført [36]. Som byggherre er KE forsiktige når det kommer til å fremskynde krav til slike arbeidsmetodikker, ettersom flere aktører i bransjen opererer med ulike metodikker, og at enkelte ikke kan møte kravene. Ved å kreve for mye kan byggherre miste tilbydere, noe som kan medføre økte kostnader. Det er allikevel lagt til rette for å bruk av ICE møtemetodikk på rådhuset i Kristiansand, gjennom etablering av et Big Room, se *figur 25* [36]





FIGUR 25: MØTEGANG I BIG ROOM PÅ KRISTIANSAND RÅDHUS

KE er i tillegg pådrivere innen tegningløse byggeprosesser, og har stort fokus på å få alle involverte aktører tilknyttet prosjekter til å benytte seg av 3D BIM fremfor tradisjonelle papirtegninger. Dette har derimot vist seg å være problematisk i et noe «umodent» marked. De overnevnte punkter er i all hovedsak hva som benyttes av VDC i praksis, men Gamman konstaterer at de er interessert i flere elementer under VDC fanen, slik som bruk av målinger, uten at dette blir benyttet i dag. Dette anses som særlig viktig for å sikre god prosjektkontroll. Spesifikke målinger som progresjon i prosjekteringsfase anses som spesielt nyttig, uten at det eksisterer en standardisert metode for å gjøre dette.

#### 4.1.4.2 4D BIM

4D BIM er ikke et særlig diskutert tema innad i KE, som har et overordnet fokus på bruk av 3D BIM og å fremme tegningsløse byggeprosesser. Gamman mener allikevel at veien fra 3D til 4D ikke er så stor, og at potensielt sett kan det være veldig nyttig i prosjektplanlegging. Hun nevner også at fordelene er trolig størst for entreprenører som får en mer tydelig fremdriftsplanlegging og samtidig bedre kontroll over logistikken på arbeidsplass [36]. Når det kommer til detaljnivå mener Gamman at det viktigste er at kostnadene knyttet til utvikling og oppfølging av 4D BIM ikke overstiger modellens nytte.



## 4.2 CASESTUDIER

Casestudiene er innhentet gjennom litteraturstudiet og ble benyttet for å samle kvantifiserbare data som kan validere eventuelle erfaringer og påstander som utpekes av intervjuobjektene. Dette bidrar til en økt kredibilitet tilknyttet resultatene. De følgende casestudier er kun tilknyttet bruk av 4D BIM, dette kommer av det var manglende data som beskriver effekten bruken av VDC har på prosjektgjennomførelsen. Casestudiene konkluderes separat i dette kapittelet for å trekke en endelig konklusjon som en helhetlig vurdering av resultatene.

### 4.2.1 EFFEKTIVITETSMÅLING AV 4D BIM

Dette casestudiet ble valgt som en case på basis av tilgangen på kvantifiserbare data som kan knyttes til anvendelsen av 4D BIM i en byggeprosess. Casen kan dog ikke direkte sammenlignes med reelle byggeprosjekter ettersom kompleksiteten tilknyttet byggeprosessen er betraktelig høyere i et byggeprosjekt i fullskala. Den vil allikevel fungere som en pekepinn på hvordan 4D BIM påvirker det endelige resultatet, sett i sammenheng av tradisjonelle metoder



FIGUR 26: FERDIGSTILT LEGOHUS

Eksperimentet ble utført av Nashwan Dawood og Sushant Sikka fra University of Teesside, Storbritannia i 2008 og har tittel: «*Measuring the effectiveness of 4D planning as a valuable communication tool*» [37]. Eksperimentet går ut på å måle effektiviteten av den fysiske byggeprosessen til et Legohus ved bruk av 4D BIM, sammenlignet med tradisjonelle 2D tegninger og Gantt-diagrammer. Deltakerne fikk tildelt 2 timer til rådighet for å fullføre Legohuset, som besto av totalt 423 deler (se figur 26). Deltakere i eksperimentet ble fordelt i to grupper: 2D og 4D. 2D gruppen benyttet 2D tegninger og Gantt-diagrammer for å planlegge byggesekvensene og 4D gruppen fikk tilgang til datamaskin og programvaren PAL 4D. Begge grupper fikk tildelt stoppeklokke for å utføre tidtaking av tid brukt til å forstå tegninger/modeller. Oversikt over eksperimentdeltakende, aldersgrupper og antall forsøk presenteres i tabell 9 herunder [37]:

Aldersgruppe	Antall deltakere		Antall forsøk	
	2D	4D	2D	4D
Skoleelever 11-15år	12	12	6	6
Videregående skoleelever 15-18år	12	12	6	6
Ingeniørstudenter 18-22år	12	12	6	6
Bransjefesjonelle 22 år +	6	6	3	3
<b>Totalt</b>	42	42	21	21

TABELL 9: OVERSIKT EKSPERIMENTDELTAKERE

Det var totalt 84 deltakere involvert i eksperimentet, med ulike bakgrunner og kunnskapsnivå iht. byggeprosesser og planlegging.

### UTFØRELSE

I første del av forsøket fikk deltakere tilgang til modell/tegninger og Gantt-diagrammer (avhengig av arbeidsgruppe 2D/4D) i 15 minutter for å planlegge byggesekvenser og utførelsestrategi, og ble så fratatt hjelpemidlene. Disse kunne videre innhentes på forespørsel, når dette ble sett som nødvendig av gruppa. I andre del av forsøket startet byggeprosessen, og gruppen hadde resterende 1t og 45min igjen til å fullføre Legohuset. Her ble det dokumentert antall ganger Legobrikker måtte omplasseres, antall ganger planinformasjonen ble tolket og ekstratid brukt på å forstå tegninger/ BIM.



FIGUR 27: BYGGEPROSESS LEGOHUS [37]

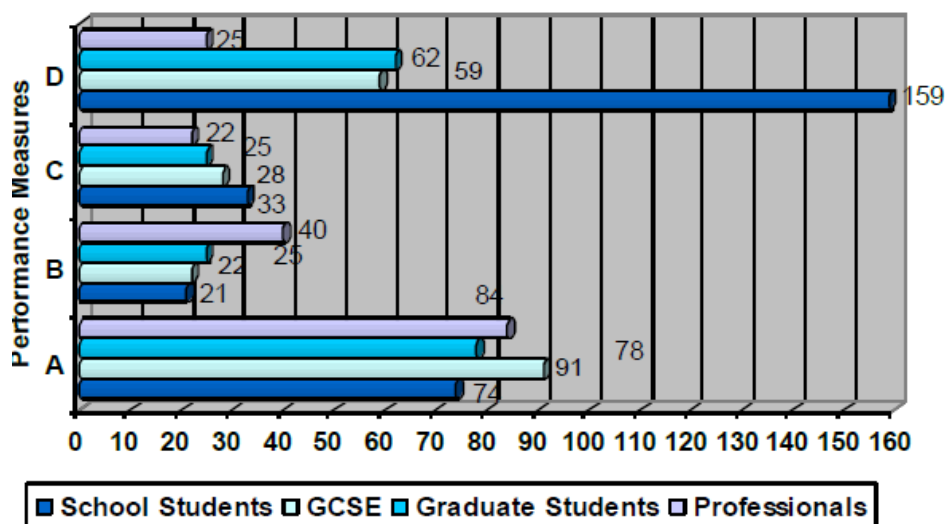
## RESULTATER

Deltageres prestasjoner måles gjennom disse følgende prestasjonskategorier:

- A. Prosent fullført ved utløpt tid [%]
- B. Antall ganger planinformasjon ble tolket i løpet av sesjonen på 2 timer
- C. Totalt tid brukt på å forstå tegninger/BIM [min]
- D. Antall ganger legobrikker ble omklassert

### 2D Gruppe

Figur 28 viser en gjennomsnittlig sammenligning av de ulike aldersgruppers prestasjoner basert på alle utførte forsøk i 2D gruppen. Prestasjonskategori representeres av bokstaver som beskrevet ovenfor. Statistikken består av School students (11-15år), GSCE (15-18år), Graduate students (18-22år), Professionals (over 22år).

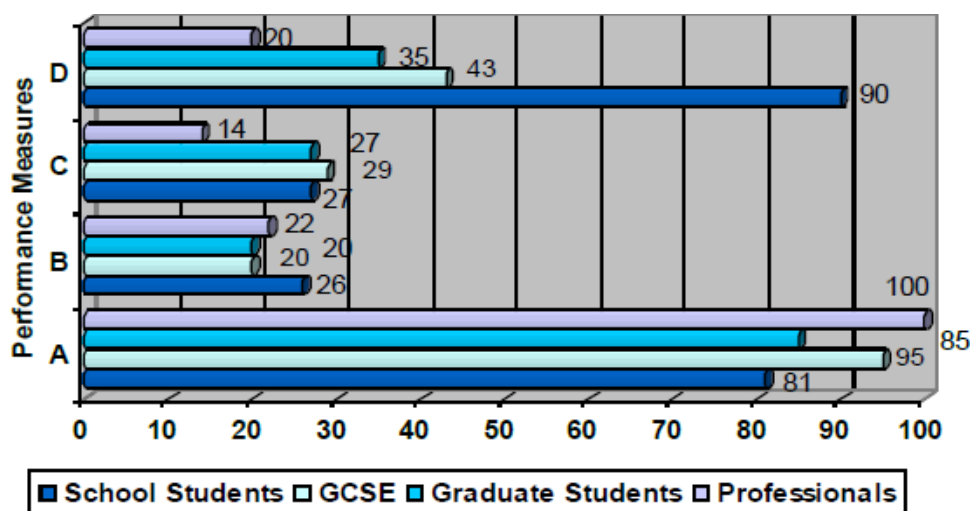


FIGUR 28: GJENNOMSNTTLIGE PRESTASJONER PER ALDERSGRUPPE VED BRUK AV 2D TEGNINGER

Statistikken viser at aldersgruppen med høyest prosent fullført (15-18år), har 91% fullført ved endt sesjon på 2 timer, og gjennomsnittlig prosentandel fullført ligger på ca. 82%. Videre gjennomsnittsberegninger viser at; Planinformasjon ble evaluert 25 ganger, det ble brukt 28 min på å forstå tegninger og det ble omklassert 85 Legoklosser.

### 4D Gruppe

Figur 29 viser en gjennomsnittlig sammenligning av de ulike aldersgruppers prestasjoner basert på alle utførte forsøk i 4D gruppen. Kategorisering har samme betydning som ved 2D gruppe.



FIGUR 29: GJENNOMSNTTLIGE PRESTASJONER PER ALDERSGRUPPE VED BRUK AV 4D BIM

Statistikken viser at bransjefesjonelle har klart å fullføre modellen før endt sesjon ved hjelp av 4D-modellen, og at gjennomsnittlig prosentandel fullført ligger på 89%. Videre gjennomsnittsberegninger viser at; Planinformasjon ble evaluert 22 ganger, det ble brukt 26 min på å forstå BIM og det ble omplassert 51 Legoklosser.

## KONKLUSJON

En sammenligning av gruppene viser at 4D gruppen har en konsekvent forbedret prestasjon og effektivitet enn 2D gruppen. Vi ser at gjennomsnittlig har 4D gruppen:

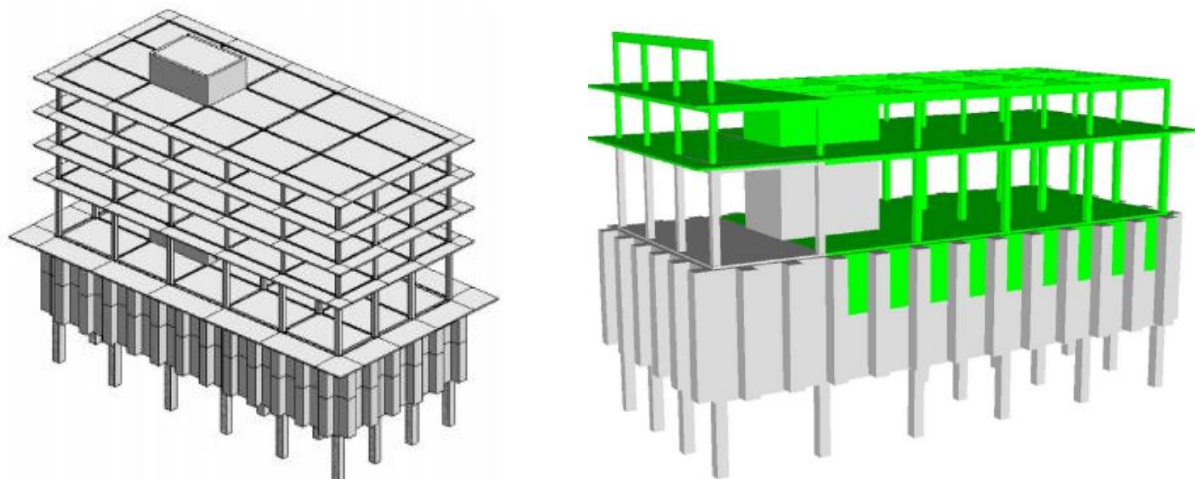
- Fullført 7% mer av Legohuset ved endt sesjon
- Evaluert planinformasjonen 14% ganger færre
- Brukt 8% mindre tid på å forstå tegninger/ BIM
- Omplassert 67% færre Legoklosser

Ut ifra individuelle resultater basert på aldersgruppe kan vi også se at bransjefesjonelle har bedre utnytte av 4D BIM som planleggingsverktøy enn hva de resterende gruppene har, noe som trolig kommer av erfaringene ved bruk av digitale hjelpemidler og planleggingsprosesser. Allikevel er det tydelig at alle aldersgrupper har fullført en større prosentandel av Legohuset ved bruk av 4D-modell. Planinformasjonen har blitt evaluert færre ganger, det er blitt brukt mindre tid på å forstå BIM og det har blitt omplassert færre legoklosser. Disse resultatene hentyder at 4D BIM er mer informativt og intuitivt enn tradisjonell metodikk, samt fremmet kommunikasjonen innad i gruppa. Dette har resultert i en effektivisert byggeprosess.

#### 4.2.2 MULIGHETSSTUDIE FOR BRUK AV 4D BIM

Studiet ble utført av Alonso Candelario-Garrido, Justo García-Sanz-Calcedo og Antonio Manuel Reyes Rodríguez fra University of Extremadura, Spania i 2017 og bærer tittelen: «*A quantitative analysis on the feasibility of 4D Planning Graphic Systems versus Conventional Systems in building projects*» [38]. Studiet forsøker å produsere kvantifiserbare data som beskriver mulighetene ved bruk av 4D BIM sammenlignet med tradisjonelle metoder for prosjektplanlegging.

Det ble totalt overvåket 65 arkitektur og ingeniørfirmaer innen byggesektor. Av disse ble 33 firmaer selektert og godkjent for å benytte 4D BIM i studiet, på basis av tidligere erfaringer med bruk av både tradisjonell planleggingsmetodikk og BIM. De selekterte firmaer ble satt til å planlegge et industribygg med bruk av både 4D BIM og tradisjonelle metoder, og resultatene ble deretter sammenlignet. Følgende programvarer ble benyttet for å føre 4D BIM; Autodesk Revit til prosjektering, MS Project til fremdriftsplanlegging og Autodesk Navisworks Manage til 4D simulering.

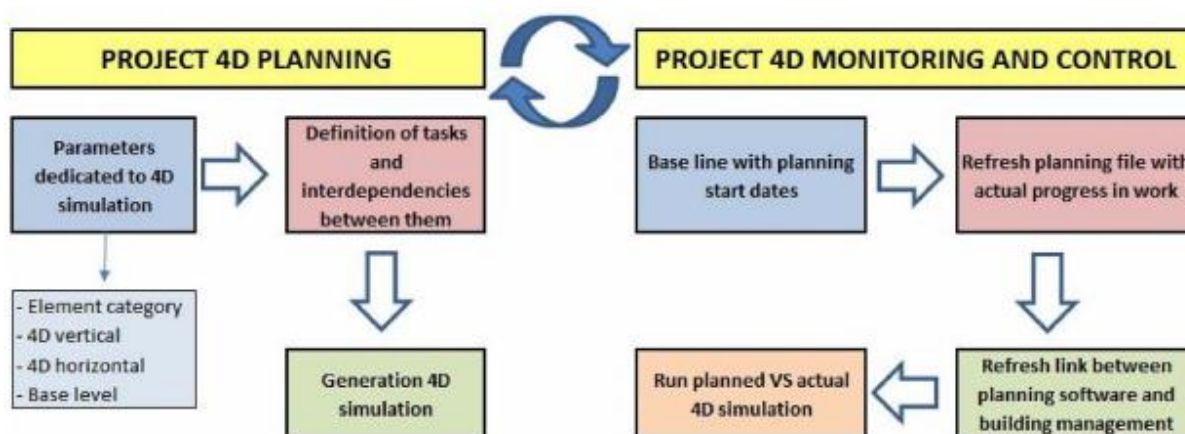


FIGUR 30: 3D BIM AV INDUSTRIBYGG (V.S.), 4D SIMULERING AV INDUSTRIBYGG (H.S.)

## UTFØRELSE

Casestudiet tar for seg et spesifikt industribygg lokalisert i Badajoz, Spania. Bygget er en armert betongkonstruksjon på 6 etasjer og 700m<sup>2</sup> grunnareal (se figur 30). Etter å ha definert tilstrekkelig parametere og produsert en 3D-modell av bygget, ble aktiviteter tilknyttet fremdriftsplanen. Deretter ble 4D visualiseringen benyttet for å kontrollere statuser på de planlagte aktiviteter iht. utført arbeid på byggeplass, dette ble gjort etter følgende trinn:

- Etablere en basis for forhåndsplanlagte datoer
- Oppdatere planen i forhold til progresjon på byggeplass
- Oppdatere koblingen mellom planleggingsprogramvare og 4D programvare
- Kjøre 4D simulering for å sammenligne planlagt og faktisk progresjon



FIGUR 31: PLANLEGGINGSPROSESS FOR 4D BIM V.S., BRUK AV 4D UNDER PRODUKSJON H.S.

Figur 31 Viser hvordan 4D brukes under planleggingen og utførelsen av byggeprosjektet. Underveis i byggeprosjektet ble det foretatt vurderinger av essensielle variabler tilhørende byggeprosessen for å dokumentere forskjellene mellom tradisjonelle metoder og 4D. Disse variablene ble vektet i forhold til viktighetsgrad og gradert i en karakterskala fra 1 – 5 hvor 1 anses som utilfredstillende og 5 som optimal. Karakteren multipliseres så med vektningen for å gi en vektet vurdering av variablene. De vektete vurderingene summeres for å gi en total karaktervurdering.

## RESULTATER

I tabell 9 fremstilles gjennomsnittlige resultatmålinger basert på de 33 selekterte firmaers vurderinger av prosjektets variabler.

Variabel	Tradisjonell	4D	Vekting	Vektet tradisjonell	Vektet 4D
Utførelsestid	4	3	10 %	0,4	0,3
Utfordringer ved planlegging	3	4	5 %	0,15	0,2
Informasjonsoversikt	2	4	10 %	0,2	0,4
Lett dokumentasjonsbruk, på kontor	4	4	5 %	0,2	0,2
Lett dokumentasjonsbruk, på byggeplass	4	3	10 %	0,4	0,3
Forstå dokumentasjon	3	4	5 %	0,15	0,2
Informasjonskvantitet og organisering	3	5	10 %	0,3	0,5
Endringsledelse og kontroll	2	4	10 %	0,2	0,4
Mulighet for optimalisering av arbeidsflyt	3	4	10 %	0,3	0,4
Uttak av planrapport	4	2	5 %	0,2	0,1
Lett oppdatering av informasjon	3	5	20 %	0,6	1
<b>Total</b>	<b>35</b>	<b>42</b>	<b>100 %</b>	<b>3,1</b>	<b>4</b>

**TABELL 10: MÅLING AV VARIABLER TILKNYTTET FORSØKET**

Tabellen viser at tradisjonell planlegging ble vurdert til en vektet total karakter på 3.1 av 5, mens 4D BIM ble vurdert til en vektet total karakter på 4.0 av 5, noe som beviser at bruk av 4D BIM har medført en forbedret prosjektgjennomføring. Vi kan allikevel se at tradisjonell planlegging har fremstått som mindre tidkrevende enn ved bruk av 4D BIM (utførelsestid 4.0 av 5 mot 3.0 av 5). 4D BIM har derimot vist seg å være betydelig mer effektiv enn tradisjonell planlegging ved endringsledelse og kontroll, samt informasjonsoversikt. Informasjon kan også oppdateres enklere underveis i prosessen. 4D BIM har også bidratt til å øke informasjonsmengden og styrket organiseringen av byggeprosessen.

## KONKLUSJON

Studiet har vist at bruk av 4D BIM som planleggingsverktøy bidrar til en konsekvent forbedret prosjektgjennomføring. Dette bevises gjennom det vektete karaktergjennomsnittet basert på 33 firmaers profesjonelle vurderinger, som har gitt *4D BIM total karakteren 4.0/5* og *tradisjonell planlegging total karakteren 3.1/5*. Studiet har vist at det finnes fordeler med begge planleggingsmetodikkene, men at i en total vurdering, fremstår 4D BIM som en mer effektiv form for planlegging. De understreker også at desto større et prosjekt er desto større er informasjonsmengden, og dermed vil 4D fremstå som enda mer effektivt, ettersom informasjonsoversikten og organiseringen blir forsterket gjennom denne metodikken.



## 4.3 DELTAKENDE OBSERVASJON – OMSORGSBOLIGER STRØMME

### 4.3.1 INTRODUKSJON

Omsorgsboliger Strømme er et pågående byggeprosjekt ved Strømme i Kristiansand. Det skal bygges 42 omsorgsboliger for personer med demens, nytt sonekontor og dagsenter. Dette medfører at bygningen må tilpasses tjenester og funksjoner som kan benyttes av beboerne og ansatte. Prosjektet er strukturert som en delentreprise med Kristiansand kommune som kunde og byggherre. Kristiansand Eiendom, som er kommunens tekniske faginstans, stiller også med prosjektleder. Multiconsults rolle i prosjektet er prosjekteringsledelse.

Prosjektet ble valgt som en deltakende observasjon for å kunne evaluere planleggingsprosessen til et pågående prosjekt, i tillegg til å danne et grunnlag for å produsere en 4D BIM basert på et reelt prosjekt. Ettersom undertegnede er involvert i prosjektets tidligfase i en delentreprise er det ingen eksisterende fremdriftsplaner for byggeprosessen. Det var i utgangspunktet tiltenkt at ekstern veileder skulle produsere en fremdriftsplan for å støtte utviklingen av 4D BIM i masteroppgaven, dette ble dessverre ikke gjennomført innen tidsfristen, og 4D-modellen måtte kuttes fra oppgaven. Det ble valgt å kutte denne delen pga. undertegnede ikke har tilstrekkelige kunnskaper eller erfaring innen praktisk fremdriftsplanlegging, noe som ville medført en udetaljert og upresis fremdriftsplan, som trolig ville vært lite anvendelig i en 4D BIM. Dette aspektet av den deltakende observasjonen ble derfor endret til generell innføring og bruk av 4D programvaren Synchro Pro, som ble gjort gjennom produsentens egen opplæringsportal Synchro Academy.

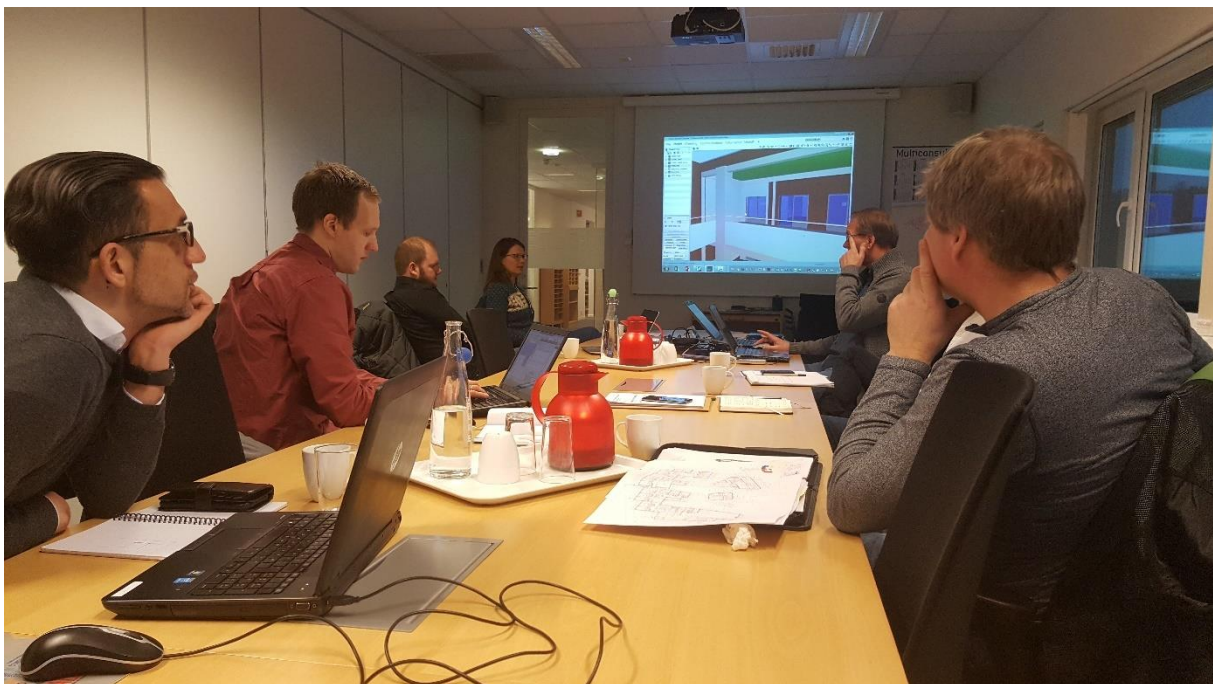


FIGUR 32: OMSORGSBOLIGER STRØMME



#### 4.3.2 BRUK AV VDC I PLANLEGGINGSPROSESSEN

Virtual Design and Construction er per dags dato ikke integrert som en standardisert metode for prosjektgjennomførelse ved Multiconsults avdelingskontor i Kristiansand, og har dermed heller ikke blitt benyttet i stor grad under planleggingsprosessen til Omsorgsboligene. Morten Abrahamsen, oppdragsleder i Multiconsult Kristiansand er VDC sertifisert og ønsker allikevel å etablere VDC i prosjektet. Som prosjekteringsleder har han startet i det små med et hovedfokus på møtegang inspirert av ICE, hvor alle nødvendige beslutningstakere samles jevnlig til prosjekteringsmøter for å presentere og løse problemstillinger fortløpende. Møtene har fokus på fastsatt agenda iht. til prosjektets behov og utfordringer, og det er kun nødvendige aktører involvert i møtene, avhengig av tema og agenda. På denne måten sikres en effektiv møtegang, hvor kun nødvendige timeverk føres og relevant informasjon behandles. BIM benyttes aktivt i møtene, men møterommet tilfredsstiller ikke kravene til et Big Room. For å styrke bruken av VDC i prosjektet har Kristiansand Kommune tatt initiativ til å etablere et Big Room på rådhuset, som tas i bruk fra og med april 2018. De resterende møter vil dermed føres fra rådhuset, og styrke bruken av VDC videre i prosjektet (*se figur 25 for Big Room*).



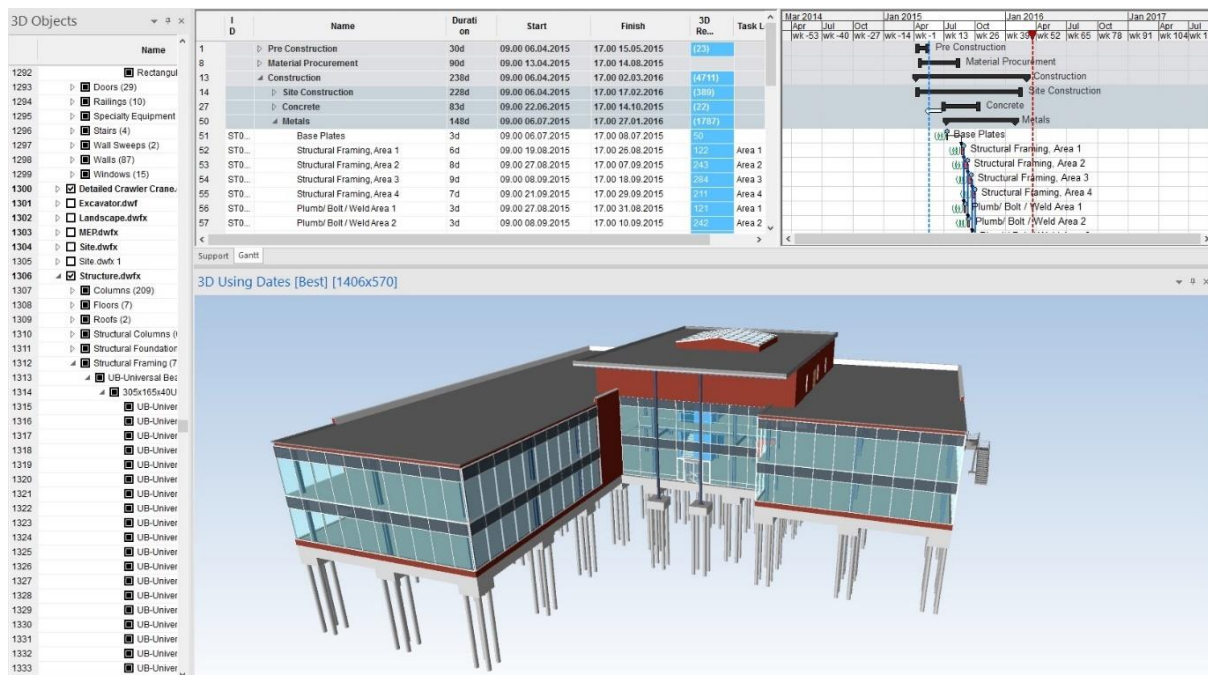
FIGUR 33: PROSJEKTERINGSMØTE VED MULTICONULTS AVDELINGSKONTOR I KRISTIANSAND

Det har også vært ambisjoner om tegningsløse arbeidsprosesser i prosjektet, hvor 3D BIM benyttes aktivt i både prosjekteringsfase og byggefase. Byggefasen per dags dato ikke igangsatt, men det vil kreves at det skal benyttes BIM stasjoner på arbeidsplass, samtidig som muligheten for bruk av nettbrett undersøkes. På tross av stort fokus på tegningsløse arbeidsprosesser har det derimot vist seg å være lite gjennomførbart i sin helhet, ettersom markedet oppleves som til dels «umodent» for dette [36].

Det undersøkes også muligheter for å implementere automatiserte prosesser iht. VDC, eksempler på dette er bruk av prefabrikkerte elementer som hulldekker og baderomskabiner. Baderomskabiner er ferdig monterte baderom som inneholder alt nødvendig i et baderom inkluderende vegger, gulv, tak, toalett, vask, etc. Dette ønskes innført for å korte ned byggetiden, men har bidratt til nye utfordringer under prosjekteringsfasen. For å kontrollere kalkyle og prosjektering opp mot byggbarhet, har det blitt innhentet en byggeleder som representerer entreprenøren. Dette gjør at eventuelle feil, mangler og logiske brister kartlegges før byggestart, noe som kan bidra til redusert grad av omarbeiding. Foruten om overnevnte punkter er ikke andre VDC prinsipper eller verktøy benyttet, og tradisjonell prosjektplanlegging iht. *kapittel 3.1* er i all hovedsak dominerende [36].

### 4.3.3 INNFØRING I SYNCHRO PRO

For å få en enkel innføring i programvaren Synchro Pro ble produsentens egen nettverksbaserte opplæringsportal, Synchro Academy benyttet [39]. Blant de ulike kursene tilgjengelig i portalen ble hovedsakelig kurset PRO 2017 Fundamentals tatt i bruk. Dette er et modulbasert kurs bestående av totalt 44 videomoduler, samt utfordringer og spørsmål. Modulene beskriver ulike funksjoner og karakteristikk ved programvaren, mens utfordringene og delprøvene bidrar til en økt forståelse gjennom personlig deltakelse. Opplæringsportalen gir tilgang til ferdige 3D-modeller, fremdriftsplaner og 4D-modeller, som brukes aktivt under videomodulene og gir muligheten til å teste ut de ulike funksjonene som blir presentert. Opplæringsportalen var svært godt strukturert og bidro til en bratt lærekurve innen bruk av programvaren. Den gir en god grunnleggende innføring i programmet på en svært tilfredsstillende måte, samtidig som instruktøren fremsto som kunnskapsrik og pedagogisk dyktig.



FIGUR 34: 4D BIM BRUKT I OPPLÆRINGSMODULER

**BRUKERGRENSESNIFF OG FUNKSJONER**

Synchro Pro er en programvare med særdeles mange funksjoner, men er samtidig svært brukervennlig og manøvrerbar. For å navigere seg i modellen kan man enkelt bruke datamusen, hvor man kan rotere, zoome og forskyve synsfeltet. Dette gjøres på en svært enkel og selvforklarende måte i likhet til andre datamodelleringsverktøy. For å markere et objekt kan en holde over ønsket objekt og klikke på venstre musetast. For å markere flere objekter kan en holde inne [Shift] eller [Ctrl] og dra over ønskede objekter. Programmet markerer automatisk påfølgende objekter når en klikker på flere, samtidig som dette markerer en sekvens som kan benyttes for å blant annet bestemme byggerekkefølge.

Blant de mange funksjonene som Synchro Pro tilbyr, har brukeren blant annet muligheter til å benytte seg av et godt 4D visualiseringsverktøy, samt et sofistikert planleggingsverktøy. Dette er et godt alternativ til planlegging, men en kan også importere ferdige fremdriftsplaner gjennom importfunksjonen som gir muligheten til å importere en ekstern fremdriftsplan utviklet i eksempelvis MS Project, i form av en XML-fil. Importfunksjonen brukes også til å innhente eksisterende 3D-modeller, som lastes inn som IFC-filer. De importerte modellene og fremdriftsplanene kan så kobles sammen gjennom manuell kobling ved å klikke på element(er) og aktivitet(er) for så å bruke kommandoen [Ctrl-Shift-A]. Alternativt kan en benytte seg av «Automatching» funksjonen, som tilbyr muligheten for å koble flere repetitive oppgaver i modellen raskt og effektivt. For å skape en mer oversiktlig visualisering har man også muligheten til å benytte seg av «Appearance profiles», som kan brukes til å endre farger på elementer iht. prioritet, fagdisiplin, etc. eller å skape en mer tilfredsstillende visualisering gjennom en kronologisk byggeprosess fra venstre til høyre o.l., *se figur 36 i vedlegg*.

Det finnes en rekke andre nyttige funksjoner som bør nevnes, herunder følger dermed en liste av spesielt nyttige funksjoner:

- Subdivision: Funksjon som gjør at brukeren kan splitte elementer i en eksisterende 3D-modell i flere mindre deler, muliggjør et høyere detaljnivå i modellen.
- Baselines and Scenario: Funksjon som gjør at brukeren kan endre elementer i fremdriftsplanen, og lagre disse som et alternativt scenario. På denne måten kan brukeren se hvordan de ulike scenariene utspiller seg iht. til tidskjemaet, og velge det beste alternativet. *Se figur 37 i vedlegg.*
- Re-scheduling: Funksjon som gjør at en kan enkelt endre elementer i fremdriftsplanen på en pålitelig måte (automatiserer endringer på foregående aktiviteter iht. til planendring). *Se figur 35 i vedlegg.*
- Report: Funksjon som gjør at brukeren kan hente ut og strukturere en rapport på planlagt arbeid, etter et egenkomponert oppsett. Eksempelvis kan en ukesrapport inneholde planlagte arbeidsoppgaver, tidslinje og 4D visualisering av hvor langt arbeide burde ha kommet, *se figur 38 i vedlegg.*

Synchro Pro har vist seg å være et godt alternativ til utvikling av 4D BIM. Gjennom opplæring og bruk har programvaren prestert godt i henhold til alle retningslinjene for valg av 4D-programvare presentert i *kapittel 3.5.4* [11].

## **5.0 DISKUSJON**

### **5.1 BRUK AV VDC OG 4D BIM I BRANSJEN**

VDC er et bredt og komplekst begrep med mange ulike tolkninger og bruk. Teorien har belyst flere aspekter av VDC omhandlende prinsipper, integreringsfaser, POP-modell, målsettinger, metoder og verktøy. Blant disse står Lean prinsipper og BIM som to bærebjelker i begrepet VDC. Etter å ha utført intervjuer med flere nøkkelpersoner som representerer ulike aktører fra Norsk byggebransje, har undertegnede tilegnet et generelt overblikk over bransjens holdninger og erfaringer iht. VDC og 4D BIM. Resultatene har vist at de aktører som bruker VDC har basert strukturen relativt tett på definisjonen utviklet av CIFE, uavhengig av tilhørighet, noe som kan hentyde at bransjen er på vei mot en mer standardisert metode for prosjektgjennomføring. Dette kommer blant annet av et tettere samarbeid mellom både prosjekterende og utførende part (eks. konsulent og entreprenør), som ønsker at bransjen skal utvikles og forbedres. Både konsulenter og entreprenører benytter seg av de fundamentale prinsippene i VDC, men verktøykassen kan variere noe avhengig av behov. Byggherren nevner derimot at flere aktører i bransjen ikke opererer med slike arbeidsmetodikker og frykter at innføring av krav tilknyttet dette, kan bidra til færre tilbydere.

Blant de tilgjengelige metoder og verktøy under VDC fanen har undertegnede observert at følgende blir særlig benyttet av bransjeaktører; Integrated Concurrent Engineering, målinger, The Last Planner System og BIM.

### 5.1.1 VDC

#### **INTEGRATED CONCURRENT ENGINEERING**

ICE har vist seg å være veldig sentralt innen VDC. Alle aktører som benytter seg av VDC i prosjekter har et stort fokus på effektiv og produktiv møtegang, noe som opprettholdes gjennom aktiv bruk av prinsippene bak ICE. Her viser det seg at bransjen har relativt like oppfatninger av hvordan et slikt møte bør foregå, som inkluderer en gjennomtenkt strukturering av møterom iht. Big Room, samt selve oppbygningen av møtet med tanke på agenda, tilstedeværende representanter og faglig relevans. Denne form for møtegang fremstår som svært gjennomtenkt og effektiv, og oppleves positivt for de fleste prosjektdeltakende, på tross av at det stiller et større krav aktiv tilstedeværelse blant alle deltakere i møtet. Møtegangen er en essensiell del av prosjektgjennomføringen i og med at problemer kan fremstilles og adresseres momentant, og bidra til en generelt bedre kommunikasjonsstrøm i prosjektet. God kommunikasjon er en essensiell del av prosjektet ettersom det kan forhindre unødvendig ressursbruk og bedre kvaliteten til det endelige produktet.

#### **MÅLINGER**

Byggebransjen er notorisk kjent for å være dårlige til å kvantifisere data som beskriver produktivitet og fremgang i prosjekter, men med VDC forsøkes det å tilføre evnen til å foreta målinger underveis. Dette er veldig positivt for bransjen i og med at målinger kan bidra til større kontroll og forutsigbarhet. Basert på intervjuer med bransjefesjonelle har det blitt belyst at slike målinger er fortsatt relativt vanskelige å foreta i en slik uforutsigbar og kompleks bransje, men enkelte prosessmålinger benyttes relativt ofte. Spesielt populære målinger er Prosent Planlagt/Utført (PPU) og møtekvalitet eller forberedelser. PPU har vist seg å være gunstig for å kontrollere leveranser, og om fremdriftsplanen er tilstrekkelig, mens møtekvalitet og forberedelser bidrar til å kontrollere og forbedre møtegangen, samt forholde seg til relevante temaer under møtesesjonen. Disse målingene er relativt enkle å utføre og kan potensielt bidra til en mer forutsigbar og effektiv prosjektgjennomføring. Som nevnt kan det allikevel vanskelig å samle inn tilstrekkelig data for å produsere gode målinger, og i visse tilfeller kan innsatsen overstige ønsket resultat.



**THE LAST PLANNER SYSTEM**

The Last Planner Method er en metode for å sikre bedre prosjektkontroll, og er vidt akseptert i bransjen, spesielt blant entreprenører. LPS kan fungere utmerket ved daglig eller ukentlig planlegging, og sikre at viktige enkeltoppgaver utføres på en oversiktlig måte. LPS kan allikevel bli svært kompleks ved større prosjekter hvor leveransene er mange. Dette kan medføre en unødvendig stor og «kaotisk» plan som kan i noen tilfeller være relativt vanskelig å opprettholde. Prinsippene bak LPS er allikevel gode med aktiv bruk av «reliable promises» fra fagpersonene som utfører arbeidet, og et oversiktlig lappeformat for å representere leveranser. LPS kan også benyttes av konsulenter gjennom å strukturere lappesystemet iht. dokumentleveranser o.l., noe som kan bidra til en bedre oversikt på planleggingsprosessen.

**BYGNINGSINFORMASJONSMODELLERING**

BIM er en essensiell bærebjelke og et viktig verktøy i VDC. VDC er utførelsesstrategi, som er avhengig av elektroniske hjelpemidler og virtuelle modeller for å fungere effektivt. Byggebransjen har en relativt lav grad av innovasjon og krever rolige teknologiske overganger. Det har derfor vist seg å være krevende å få med seg alle på lasset. Det er fortsatt mange i bransjen som benytter seg av 2D papirtegninger, noe som kan skape problemer ved overgangen til det mer moderniserte alternativet innen 3D og 4D bygningsmodeller. Fordelene er allikevel for mange, og flere og flere omfavner bruken av 3D BIM. Bruken av virtuelle modeller bidrar til en mer nøyaktig og effektiv byggeprosess, og fører til en forbedret informasjonsflyt. Alle intervjuobjekter representerende ulike bransjeaktører, er enige om påstanden om at BIM er fremtiden, og bruken av BIM er i stadig vekst. De nevnte aktører benytter BIM hovedsakelig i alle prosjekter de er involverte i. Det har derimot blitt bevist at tegningsløse byggeprosjekter er for utfordrende per i dag.



### 5.1.2 4D BIM

Det viser seg at bransjen fortsatt streber etter en allmenn omfavnelse av 3D BIM, og er relativt fersk på bruken av 4D BIM. Undertegnede har forsøkt å innhente kandidater med erfaringer med 4D BIM og programvarer, men dette har vist seg å være utfordrende. Det er allikevel oppnådd kontakt med flere kandidater med forståelse for temaet. Særlig entreprenører fremstår som entusiastiske ved bruken av 4D BIM, men konsulenter og produsenter ser også et enormt potensial på tross av lite erfaring med praktisk bruk. Kruse Smith Entreprenør er relativt langt fremme i utviklingen av 4D BIM til bruk i pågående prosjekter, og har opplevd stor suksess ved implementering, uten å ha kvantifiserbare data til å støtte påstanden. 4D BIM har et enormt potensial for alle aktører tilhørende byggebransjen, dette først å fremst fordi det skaper en svært åpen kommunikasjonsflyt mellom alle prosjektdeltakende på tvers av fagdisipliner, men også fordi det styrker produksjonsgrunnlaget for den utførende part. 4D BIM kan potensielt bidra til en bedre informasjonsflyt mellom alle prosjektdeltakende, samtidig som det skaper en økt forståelse for hverandres fagfelt, noe som igjen forenkler kommunikasjonen innad i prosjektet. 4D BIM bidrar også til en økt logistikk- og produksjonskontroll ettersom det gir muligheten til å kvantifisere hva som er planlagt og måle hva som blir bygd hver dag. I tillegg finnes det flere funksjoner i programvaren som plassering av nødvendig utstyr, eks. gravemaskin, kraner, lagringsplass, etc. Disse funksjonene kan også bidra til å forklare flere viktige arbeidsprosesser og logistikk på en enkel visuell måte med å fysisk plassere utstyret hvor det skal være til en gitt tid, kontra forklare med overdrevne beskrivelser i fremdriftsplanen.

Hva som kjennetegner en god 4D BIM i henhold til detaljgrad er aktørene litt uenige i, ettersom ulike aktører og fagdisipliner har forskjellige behov i forhold til hva som er viktig. Det kan trekkes en fellesnevner fra samtlige aktørers preferanser, og dette er at tidspunkt for utførelse og milepæler er særlig viktig. For øvrig kan det observeres at konsulenter ønsker en høyest mulig detaljgrad, så lenge informasjonen er nyttig for brukeren, men at enkelte arbeidsprosesser ikke trenger å utledes i dybde. Dette står i kontrast til produsenter som i all hovedsak ønsker en simpel og forståelig modell hvor det visuelle beskrives enkelt med fargekoder, og med hovedfokus på datoer og milepæler. Entreprenører ønsker en detaljgrad bestående av en mellomting av grovt grunnlag og høy detaljering, og er beskrivende nok til å forutse problemer, samtidig som den er fleksibel nok til å oppta endringer og variasjon.

## 5.2 CASESTUDIER

Casestudiene i oppgaven ble selektert for å bidra til en kvantitativ validering av de ellers kvalitative resultater tilegnet under oppgaven. Casene er hovedsakelig tilknyttet bruk av 4D BIM, og fungerer dermed kun som en validering av resultater tilknyttet dette temaet. Casene produserte gode resultater som beviste en konsekvent effektivitetsøkning sett i forhold til tradisjonelle metoder for prosjektplanlegging, dette stemmer veldig overens med teorien, samt erfaringer og antakelser gjort av kompetente bransjefesjonelle som ble intervjuet. Casene diskuteres individuelt i de påfølgende delkapitler.

### 5.2.1 EFFEKTIVITETSMÅLING AV 4D BIM

Casen har bidratt til mye kvantifiserbare data som beviser potensialet ved anvendelse av 4D BIM som et effektivt planleggingsverktøy. Resultatene viste blant annet at alle aldersgrupper har fullført en større prosentandel av Legohuset ved bruk av 4D-modell, planinformasjonen har blitt evaluert færre ganger, det er blitt brukt mindre tid på å forstå BIM og det har blitt omplassert færre legoklosser. Disse resultatene hentyder at 4D BIM er mer informativt og intuitivt enn tradisjonell metodikk, samt fremmet kommunikasjonen innad i gruppa. Dette har resultert i en effektivisert byggeprosess.

Det må allikevel formidles litt kritikk til studiet ettersom dette eksperimentet har benyttet seg av en stor andel kandidater med manglende teknisk bakgrunn, og som ikke befinner seg innen brukergruppen. Det er i tillegg en mindre andel bransjefesjonelle enn de resterende aldersgrupper, samt færre antall forsøk, noe som gir et svekket statistisk grunnlag for å trekke en konklusjon. Det er tenkelig at resultatet hadde vært mer presist om eksperimentet hadde fokusert på brukergruppen bransjefesjonelle, med betraktelig flere kandidater. Dette hadde sannsynligvis bidratt til et mer stabilt og fortrolig resultat.

### 5.2.2 MULIGHETSSTUDIE FOR BRUK AV 4D BIM

Casen har vist at bruk av 4D BIM som planleggingsverktøy bidrar til en konsekvent forbedret prosjektgjennomførelse. Dette bevises gjennom det vektete karaktergjennomsnittet basert på 33 firmaers profesjonelle vurderinger, som har gitt *4D BIM totalkarakteren 4.0/5* og *tradisjonell planlegging totalkarakteren 3.1/5*. Studiet har allikevel påpekt at det finnes ulike fordeler med både tradisjonell prosjektplanlegging og ved bruk av 4D BIM.

Casen belyser mange viktige variabler som påvirker et byggeprosjekt, og fremstiller resultater på en god og fortrolig måte, med et godt statistisk grunnlag basert på 33 nøye selekterte ingeniør/arkitekt firmaer. Allikevel fremstilles resultatene som en karakterskala basert på deltakernes meninger og erfaring, noe som i seg selv kan gi varierende utslag. Alle utvalgte firmaer hadde erfaring med BIM, og vil dermed være til en viss grad naturlig positiv ovenfor bruk av elektroniske hjelpemidler, og dermed heller ikke helt upartiske. Casen viser seg også å være relativt lite informativ på hva som defineres som tradisjonelle metoder, og har forholdsvis lite generell informasjon rundt forsøket, noe som kan medføre misforståelser for leseren.

### 5.3 DELTAKENDE OBSERVASJON

Undertegnede var bare involvert i prosjektets planleggingsfase og fikk dermed ikke et objektivt innblikk i en helhetlig prosjektgjennomføring, som hadde vært svært fordelaktig med tanke på problemstillingen i oppgaven. Prosjektet ga allikevel et innblikk i planleggingsprosessen og fikk belyst hvordan VDC kan benyttes under prosjektering og planlegging av et prosjekt. Ettersom det ikke ble utviklet en 4D BIM knyttet til Omsorgsboliger Strømme, ble det heller ikke utledet en detaljert beskrivelse av prosessen bak utvikling av 4D BIM. Det ble i stedet foretatt en generell vurdering av en 4D-programvares brukervennlighet og karakteristikk. Dette er allikevel gunstige resultater som gir en innførende kunnskap om 4D BIM, og presenterer muligheter ved bruk.

#### 5.3.1 SYNCHRO PRO BRUKERVENNLIGHET

Synchro Pro er en sofistikert programvare godt tilpasset utvikling av 4D BIM. Etter å ha fullført den modulbaserte opplæringen i Synchro Academy, fikk undertegnede en god innføring i programvarens brukergrensesnitt, funksjoner og generell manøvrering. Videomodulene tilhørende Pro Fundamentals var svært informative og lærerike, noe som bidro til en bratt læringskurve. Programvaren i seg selv opplevdes som intuitiv og selvforklarende på mange områder, men er tettpakket med ulike funksjoner og manøvreringskommandoer, som kan være til dels ukjent for brukeren. En kan påstå at visse funksjoner eller kommandoer er til en viss grad unødvendige, selv for en erfaren bruker. Det finnes en rekke praktiske funksjoner i Synchro Pro som gir en god brukeropplevelse og bidrar til en tilfredsstillende 4D BIM. Programmet har gode visualiseringsevner og planleggingsfunksjoner, samt har muligheter for enkel uthenting av nødvendig informasjon fra modellen. I sin helhet er Synchro Pro et godt alternativ til en 4D programvare, og er forholdvis enkel for selv uerfarne brukere. Uerfarne brukere kan derimot slite med å fullt utnytte programmets funksjoner, men allikevel ha et godt utbytte.

### 5.3.2 MULIGHETER VED BRUK AV 4D BIM I OMSORGSBOLIGER STRØMME

Byggeprosjektet Omsorgsboliger Strømme er strukturert som en delentreprise, noe som innebærer at utførende part/ entreprenør er lite involvert i prosjektets tidligfase. Det er dermed minimal kontakt mellom prosjekterende og utførende under prosjekteringsfasen, noe som trolig vil medføre en større grad av omarbeiding og endringer ved oppstart av byggeprosess [27]. Dette er unødvendig timeverk og ressursbruk, som kunne vært unngått hvis prosjekterende part hadde bedre kontakt med byggeplass. 4D BIM kan være det manglende leddet i kommunikasjonen som kan knytte sammen alle aktører involvert verdikjeden. Ved hjelp av 4D BIM kan prosjekterende part ha en bedre oversikt over hva som faktisk skjer på en byggeplass, og slik fremheve og adressere logiske brister som før var vanskelige å identifisere. Dette bidrar også til en økt forståelse for andre prosjektdeltageres fagfelt, noe som igjen fremmer kunnskapsutvikling og kommunikasjon. Naturligvis forbeholder dette at leddene i verdikjeden, kommuniserer bedre fra starten av og at utførende part tar del i utviklingen av en 4D-modell. Denne kommunikasjonen er til dels opprettholdt i prosjektet gjennom å innhente byggeleder fra entreprenør til å evaluere planlagt arbeid opp mot byggbarhet. Ved å inkludere entreprenører såpass tidlig i prosessen tilføres ekstra kostnader, noe som ikke alltid er mulig i stramme budsjett, men sett på lang sikt kan det spekuleres at det kan bidra til en effektivisert prosjektgjennomføring innebærende bedre kommunikasjon, mindre omarbeiding, total kostnadsreduksjon og et bedre sluttprodukt.

## **6.0 KONKLUSJON**

I konklusjonen besvares først de underliggende forskningsspørsmål som videre leder til den endelige konklusjon omhandlende den øvrige problemstilling.

### **FORSKERSPØRSMÅL**

1. Virtual Design and Construction er i all hovedsak en systematisk utførelsesstrategi for prosjektgjennomføring basert på eksisterende metoder og verktøy. VDC har spesielt fokus på å kombinere Lean prinsipper med aktiv bruk av BIM. I verktøykassen under VDC-fanen finner man verktøy som; Integrated Concurrent Engineering (ICE) / Big Room møtemetodikk, målinger, The Last Planner Method og 3D/4D BIM. 4D BIM er 3D BIM tilført en ekstra dimensjon i form av tid og fremdrift. Dette gjøres ved å koble fremdriftsplanen til bygningselementer i 3D-modellen. Ved å implementere fremdrift i 3D-modellen, kan byggeprosessen visualiseres på en strukturert og realistisk måte.
2. VDC benyttes aktivt av flere aktører i byggebransjen per dags dato, og er i kontinuerlig vekst. Aktører som benytter seg av VDC påstår at utførelsesstrategien har medført en bedre og mer gjennomtenkt planleggingsprosedyre iht. møter og arbeid, samt en generelt bedre prosjektgjennomføring, ettersom eksisterende verktøy benyttes på en mer strukturert måte. I tillegg trekkes det frem at VDC har tilført en mer forutsigbar arbeidsprosess, samt redusert tidsbruk, pengebruk og tid brukt til omarbeiding. 4D BIM er per dags dato ikke benyttet i særlig stor grad i bransjen, men entreprenører er aktivt i gang med utvikling og bruk av 4D-modeller i byggeprosjekter. Entreprenører ønsker å benytte 4D BIM som et verktøy for å få en bedre og mer strukturert planleggingsprosess, og påstår at bruken kan blant annet bidra til; økt forutsigbarhet i prosjektet, forbedret kommunikasjon, enklere identifisering av feil og logiske brister, samt kvantifisere hva som er planlagt og måle progresjon.
3. Forskningsartiklene anvendt som casestudier i oppgaven har bevist at det finnes kvantifiserbare data som tilsier at 4D BIM bidrar til en konsekvent forbedret prosjektgjennomføring, og som støtter påstander og erfaringer uttrykt av intervjuobjekter. Det er derimot ikke tilegnet tallfestede data som beskriver hvordan VDC påvirker prosjektgjennomføringen.
4. Basert på undertegnede personlige erfaringer med 4D programvaren Synchro Pro, kan det konkluderes at 4D BIM ikke fremstår som særlig teknisk krevende å produsere, men programvaren har mange funksjoner som krever et visst kunnskapsnivå for å utnytte programvarens fulle potensiale. En god 4D-modell bør være tilstrekkelig detaljert og

informativ i den forstand at informasjonen er nyttig, men bør forøvrig holdes simpel nok til at de viktigste fremdriftselementer som milepæler, varighet, start/slutt tid, aktiviteter og når faggrupper skal involveres, kommer tydelig frem. Fremdriftsplanen bør holdes generell nok til å kunne oppta endringer uten en større korrigerende innsats. 3D BIM bør holdes tilstrekkelig detaljert til å knytte essensielle fremdriftselementer og bør fremstå som visuelt forklarende, gjerne med fargekoder (Appearance Profiles) for å eksempelvis beskrive hvilke faggrupper som utfører arbeidet på gitte 3D komponenter.

## **PROBLEMSTILLING**

VDC og 4D BIM kan i høyeste grad bidra til en forbedret prosjektgjennomføring. VDC har vist seg å tilføre en systematisert prosjektgjennomføring, som tar i bruk tilgjengelige verktøy på en mer effektiv og strukturert måte enn tidligere. Dette kan blant annet føre til bedre kommunikasjon, mindre tidsbruk og redusert pengebruk i prosjektet. 4D BIM er mer intuitiv og forståelig enn tradisjonelle fremdriftsplaner for både bransjefesjonelle og utenforstående. Aktører som anvender 4D BIM trekker frem en rekke fordeler bruk av 4D-modeller tilfører prosjektet. Effekten ved implementering støttes også av de kvantitative forskningsartiklene anvendt som casestudier i oppgaven. Disse casestudiene har produsert tallfestede verdier som beviser at 4D BIM bidrar til en konsekvent forbedring av prosjektgjennomføringen.

## **7.0 VIDERE ARBEID**

Undertegnede har kun vært involvert i en tidligfase i et pågående prosjekt strukturert som en delentreprise. Det har dermed vært ingen kontakt med entreprenører eller andre aktører foruten om den prosjekterende part, noe som bidrar til lite referanser innen bruk av VDC og 4D BIM gjennom hele prosjektgjennomføringen. I tillegg har verken VDC og 4D BIM blitt særlig benyttet, noe som har gitt et manglende innblikk i hele prosessen ved bruk av disse metodikkene. For videre arbeid anbefales det å undersøke hvordan VDC og 4D BIM påvirker hele prosjektgjennomføringen, noe som kan gjøres ved å undersøke et prosjekt hvor disse er blitt benyttet aktivt under hele prosjektet. Dette vil gi et mer realistisk innblikk i selve prosessen, og kan muligens bidra til å kvantifisere effekten av disse metodikkene. Det kan også være en fordel å se på forskjellen mellom bruk av VDC og 4D BIM i en delentreprise kontra en totalentreprise hvor prosjekterende part har bedre muligheter for å samarbeide mer aktivt med utførende part.

Denne oppgaven fikk ikke beskrevet hele prosessen ved utvikling av 4D BIM i et realistisk prosjekt, ettersom denne delen måtte annulleres. Det anbefales derfor at videre arbeid innehar et fokus på prosessen bak utviklingen av 4D BIM, innebærende en detaljert beskrivelse av prosessen, samt erfaringer og utfordringer med programvaren. Det kan også være interessant å se på flere alternativer til 4D-programvarer for å trekke en mer presis konklusjon om hvilken programvare som er den beste.



## 8.0 REFERANSER

- [1] M. F. D. R. G. B. A. Khanzode, «A guide to applying the principles of Virtual Design and Construction to the Lean Project Delivery Process,» CIFE, Stanford University, Palo Alto, California, 2006.
- [2] A. K. Larsen, En enklere metode - Veiledning i samfunnsvitenskapelig forskningsmetode, Bergen: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS, 2008.
- [3] A. B. & E. Bell, Business research methods, Oxford: Oxford University Press, 2011.
- [4] P. D. Gardiner, Project management - a strategic planning approach, Basingstoke: Palgrave Macmillan, 2005.
- [5] Prof. R.M. Chandima Ratnayake, Forfatter, '*Lean Principles/Concepts for 'Construction' and/or 'Manufacturing'*'. [Performance]. IMBM, UiS, 2018.
- [6] B. Hardin, BIM and Construction Management, Indianapolis: Wiley Publishing, Inc., 2009.
- [7] buildingSMART Norge , «<https://buildingsmart.no>,» buildingSMART Norge , 31 12 2017. [Internett]. Available: <https://buildingsmart.no/bs-norge>. [Funnet 16 1 2018].
- [8] BIM Center Norge, «<https://bimcenter.no>,» [Internett]. Available: <https://bimcenter.no/hvorfor-bim/>. [Funnet 16 1 2018].
- [9] Autodesk, «<https://www.autodesk.com>,» [Internett]. Available: <https://www.autodesk.com/products/revit-family/overview>. [Funnet 16 1 2018].
- [10] A. Redman, «Bruk av VDC og 4D i Skanska-prosjekter,» NTNU, Trondheim, 2017.
- [11] P. T. R. S. & K. L. C. Eastman, BIM Handbook - a guide to building information modeling, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [12] M. Rolfsen, Lean blir norsk: Lean i den norske samarbeidsmodellen, Bergen: Fagbokforlaget, 2014.

- [13] Lean Construction Institute, «<https://www.leanconstruction.org>,» [Internett]. Available: <https://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-design-construction/>. [Funnet 17 1 2018].
- [14] H. G. Ballard, «The Last Planner System of Production Control,» The University of Birmingham - Faculty of Engineering, Birmingham, 2000.
- [15] F. Coln, «<http://leanconstructionblog.com>,» Lean Construction blog, 21 februar 2018. [Internett]. Available: <http://leanconstructionblog.com/How-to-Succeed-with-the-Lookahead-Process-of-The-Last-Planner-System.html>.
- [16] G. B. & M. F. R. Fosse, «Virtual Design and Construction: Aligning BIM and Lean in Practice,» Heraklion, 2017.
- [17] R. Stene, «<https://multiconsult.no>,» [Internett]. Available: [https://multiconsult.no/assets/Frokostseminar\\_Multiconsult\\_Rune\\_Stene\\_Skanska.pdf](https://multiconsult.no/assets/Frokostseminar_Multiconsult_Rune_Stene_Skanska.pdf). [Funnet 24 1 2018].
- [18] J. K. & M. Fischer, «Virtual Design and Construction,» Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, 2012.
- [19] Stanford University, «<https://cife.stanford.edu>,» Center for Integrated Facility Engineering, 10 april 2018. [Internett]. Available: <https://cife.stanford.edu/events/cifeppi-vdc-certificate-program>.
- [20] The European Space Agency, «<http://www.esa.int>,» 7 12 2012. [Internett]. Available: [http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2012/12/Concurrent\\_Design\\_Facility](http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2012/12/Concurrent_Design_Facility). [Funnet 22 1 2018].
- [21] M. F. & J. Kunz, «The Scope and Role of Information Technology in Construction,» Stanford University, Stanford, 2004.
- [22] B. K. & M. Fischer, «Feasibility study of 4D CAD in Commercial Construction,» EBSCO Publishing, 2000.

- [23] R. Fosse, «<https://synchro ltd.com>,» Synchro Ltd, 2 Desember 2015. [Internett]. Available: <https://blog.synchro ltd.com/how-4d-scheduling-creates-synergies-between-bim-lean>. [Funnet 30 Januar 2018].
- [24] Autodesk, «<https://www.autodesk.no>,» Autodesk, [Internett]. Available: <https://www.autodesk.no/products/navisworks/overview>. [Funnet 5 Februar 2018].
- [25] Multiconsult, «<https://www.multiconsult.no>,» Multiconsult, [Internett]. Available: <https://www.multiconsult.no/om-oss/>. [Funnet 23 mars 2018].
- [26] A. S. Dahl, Forfatter, *VDC i praksis*. [Performance]. Multiconsult, 2018.
- [27] B. Egeland, Interviewee, *MSc. RIB - Multiconsult*. [Intervju]. 21 mars 2018.
- [28] A. S. Dahl, Interviewee, *Avdelingsleder gjennomføring - Multiconsult*. [Intervju]. 13 februar 2018.
- [29] Kruse Smith, «<https://www.kruse-smith.no>,» Kruse Smith, [Internett]. Available: <https://www.kruse-smith.no/om-kruse-smith/>. [Funnet 23 mars 2018].
- [30] G. Skeie, Forfatter, *Fra BIM til VDC - jobb smartere sammen*. [Performance]. Næringsforeningen, 2016.
- [31] G. Skeie, Forfatter, *VDC - Prosjektgjennomføring i Kruse Smith*. [Performance]. Kruse Smith, 2017.
- [32] G. Skeie, Interviewee, *Utviklingsleder BIM - Kruse Smith*. [Intervju]. 15 mars 2018.
- [33] Consolis Spenncon, «<http://spenncon.no/spenncon>,» Consolis Spenncon, [Internett]. Available: <http://spenncon.no/spenncon/om-spenncon/>. [Funnet 23 mars 2018].
- [34] S. Gedde-Dahl, Interviewee, *Konstruksjonsdirektør - Spenncon*. [Intervju]. 16 mars 2018.
- [35] Kristiansand kommune, «[www.kristiansand.kommune.no/](http://www.kristiansand.kommune.no/),» Kristiansand kommune, [Internett]. Available: <https://www.kristiansand.kommune.no/>. [Funnet 14 mai 2018].

- [36] J. K. G. -. K. kommune, Interviewee, *Prosjektleder*. [Intervju]. 15 mai 2018.
- [37] N. D. & S. Sikka, «Measuring the Effectiveness of 4D Planning as a Valuable Communication Tool,» Centre for Construction Innovation & Research, University of Teesside, UK, 2008.
- [38] J. G.-S.-C. & A. M. R. R. Alonso Candelario-Garrido, «A quantitative analysis on the feasibility of 4D Planning Graphic Systems,» Department of Graphical Expression, University of Extremadura, Badajoz, 2017.
- [39] M. Faloughi, «Synchro Pro 2017 - Fundamentals,» Synchro Ltd., 2017.

## 9.0 VEDLEGG

### 9.1 INTERVJUGUIDE

#### Introduksjon av oppgave

Masteroppgaven omhandler bruken av VDC og 4D BIM i prosjektplanlegging. Målet med oppgaven er å identifisere de ulike tolkninger og bruk av disse arbeidsmetodikkene i praksis, og hvilken effekt implementering har på planleggingen. Det gjøres oppmerksom på at intervjuet vil bli tatt opp for å kunne evaluere informasjonen i etterkant. Personen kan muligens bli sitert i oppgaven, er dette akseptabelt? Intervjuobjektet kan forholdes anonym.

#### 4D BIM

##### Generelt:

1. Hva er dine personlige erfaringer med bruk av 4D?
2. Hvilke resultater forventer du med anvendelse av en 4D-modell?
3. Hvilke erfarte fordeler har 4D medbrakt prosjektet?
4. Hvilke erfarte ulemper har 4D medbrakt prosjektet?
5. Hvilken effekt har bruk av 4D hatt på:
6. Produktivitet / Effektivitet
7. Kommunikasjon mellom prosjektdeltakende
8. Oppdagelse av feil og kollisjoner
9. Prosjektoversiktligheit
10. Utførelsesstrategi
11. Forutsigbarhet
12. Endringer og forsinkelser
13. Hva karakteriserer en god 4D-modell?
14. Hvor høy detaljgrad iht. 3D BIM og fremdriftsplan, vil du påstå må til for å produsere en god 4D-modell?
15. Hva er din helhetlige oppfatning av 4D? Er det verdt forarbeidet, kostnader og tidsbruken?
16. Hva slags tilbakemeldinger har du mottatt fra prosjektdeltakende?
17. Vil du anbefale bruk av 4D BIM som en standardisert metode for prosjektplanlegging?
18. Hvilke forbedringspotensialer for 4D BIM vil du anbefale?

## Bruk

19. Hva slags 4D programvarer benytter dere?
20. På hvilken måte anvender dere 4D BIM i byggeprosjekter?
21. Hvordan tilpasses planleggingen av prosjektet 4D-modellen?
22. Er utvikling av en 4D-modell teknisk krevende?
23. Anvendes VDC prinsipper i kombinasjon av 4D? ICE møter, Big Room, målinger etc.
24. Hvordan praktiseres tverrfaglig samhandling iht. 4D-modellen
25. Har du noen kvantifiserbare data som beskriver hvordan 4D BIM påvirker det endelige produktet eller planleggingsprosessen?

## VDC

### Generelt:

1. Hva mener du inngår i begrepet Virtual Design & Construction?
2. Hva er dine personlige erfaringer med bruk av VDC?
3. Hvilke erfarte fordeler har VDC medbrakt prosjektet?
4. Hvilke erfarte ulemper har VDC medbrakt prosjektet?
5. Hva slags tilbakemeldinger har du mottatt fra prosjektdeltakende?
6. Vil du anbefale bruk av VDC som et standardisert rammeverk for prosjektgjennomføring?
7. Hvilke forbedringspotensialer mener du VDC har?

## Bruk

8. Hvordan strukturerer dere VDC rammeverket? Hvilke verktøy benytter dere? ICE, Big Room, LPS, målinger etc.
9. Hvordan foregår møtene? Hvilke punkter gjennomgås? Hvem deltar? BigRoom, LPS, målinger / DEEPAND, tilstedeværelse av brukerrepresentant.
10. Hva slags prosessmålinger benytter dere? PPU (prosent planlagt/utført), møteeffektivitet, etc.
11. Hvordan følges VDC opp under byggeprosessen? BIM stasjon, målinger, etc.
12. Har du noen kvantifiserbare data som beskriver hvordan VDC påvirker det endelige produktet eller planleggingsprosessen?

## 9.2 INTERVJU SAMMENDRAG

De følgende tekster er forkortede sammendrag av spørsmål og svar fra utførte intervjuer. Det tas forbehold om at svar, ikke er til punkt og prikke ordrette, men innholdet er forkortet og ivaretatt på en hensiktsfull måte for å uthente essensiell informasjon relevant til oppgaven.

SOLVEIG GEDDE-DAHL – SPENNCON

### 4D BIM

#### 1. Hva er dine personlige erfaringer med bruk av 4D?

- Pådriver i utviklingen, men ikke direkte erfaring med bruk av 4D.

#### 2. Hvilke resultater forventer du med anvendelse av en 4D-modell?

- Skyhøye forventninger: Effektivisert og forenklet arbeidsprosess, standardisert planleggingspraksis, transparent planlegging, redusere feil.

#### 3. Hvilke erfarte fordeler har 4D medbrakt prosjektet?

- Ingen erfaringer enda, fortsatt på utviklingsbasis.
- Fordeler er samme som forventninger.

#### 4. Hvilke erfarte ulemper har 4D medbrakt prosjektet?

- «Ikke ulemper, men utfordringer» Krever mye ressurser å utvikle, kostnader, endring av «mind set» til brukere.

#### 5. Hvilken effekt har bruk av 4D hatt på:

**-Produktivitet / Effektivitet:** Ingen dokumenterte effekter enda, ikke i bruk per nå. Montasjeavdeling bruker mye 3D, og sjekker status på elementer på byggeplass, men bruker ikke direkte 4D. Har opplevd stor suksess med dette.

**-Kommunikasjon mellom prosjektdeltakende:** Bidrar definitivt til forbedret kommunikasjon, spesielt mellom planlegging og produksjon, godt grunnlag for montasje, effektiviserer kommunikasjonen mellom leddene, letter tilgang på informasjon gjennom en kilde, ingen revisjon av tegninger, mindre ventetid på tilgang av informasjon.

**-Oppdagelse av feil og kollisjoner:** Prosjekteringsfeil reduseres betydelig, ingen geometrifeil.

**-Prosjektoversiktighet:** Øker forståelighet og tilgang på informasjon for alle i verdikjeden.

**-Utførelsesstrategi:** Ja, men er avhengig av prosjektets behov, produksjon og montasje har forskjellige utførelsesstrategi og behov. Vil åpne muligheter, men vanskelig å si per nå.

**-Forutsigbarhet:** Økt forutsigbarhet, mer transparent planlegging.

**-Endringer og forsinkelser:** lettere å kontrollere milepæler.

## **6. Hva karakteriserer en god 4D-modell?**

- Kontroll, datoer/milepæler; planlagt og levert til produksjon, når produseres og å når leveres.

## **7. Hvor høy detaljgrad iht. 3D BIM og fremdriftsplan, vil du påstå må til for å produsere en god 4D-modell?**

- Keep it simple: Det enkle er ofte det beste, ikke ha for høy detaljering, enkel visuell og lett forståelig, få med viktige datoer.

## **8. Hva er din helhetlige oppfatning av 4D? Er det verdt forarbeidet, kostnader og tidsbruken?**

- 100% verdt det!

## **9. Hva slags tilbakemeldinger har du mottatt fra prosjektdeltakende?**

- En viss motstand, har kontroll på eksisterende metoder, en omstilling, desto mer personer blir kjent med emnet, desto mer positivitet, har forsøkt å implementere 4D gradvis i Spenncon, forenkle overgangen.

## **10. Vil du anbefale bruk av 4D BIM som en standardisert metode for prosjektplanlegging?**

- Vil absolutt anbefale 4D BIM.

## **11. Hvilke forbedringspotensialer for 4D BIM vil du anbefale?**

- Dette er bare starten, mye som kan forbedres, utviklingen vil fortsette.

## **12. Hva slags 4D programvarer benytter dere?**

- Tekla 3D-modellering, (EP) Database med egne programvarer for fremdriftsplaner. Zumbo connect.

## **13. På hvilken måte anvender dere 4D BIM i byggeprosjekter?**

- Under utvikling, Statuser i 3D-modell, mest i konstruksjon og montasje, fargekoder på elementer for å identifisere statuser, Excel ark til planlegging. Ingen visualiseringer, bare snapshots av 3D-modell

## **14. Hvordan tilpasses planleggingen av prosjektet 4D-modellen?**

- 

## **15. Er utvikling av en 4D-modell teknisk krevende?**



- Veldig tilrettelagt, prøve å holde modellen enkel

**16. Anvendes VDC prinsipper i kombinasjon av 4D? ICE møter, Big Room, målinger etc.**

- Hovedsakelig ikke i bruk, men bruker LOD

**17. Hvordan praktiseres tverrfaglig samhandling iht. 4D-modellen?**

-

**18. Har du noen kvantifiserbare data som beskriver hvordan 4D BIM påvirker det endelige produktet eller planleggingsprosessen?**

- Ingen data per nå

**1. Hva mener du inngår i begrepet Virtual Design & Construction?**

- En metodikk for prosjektgjennomføring, basert på BIM. Mål: Kundemål, Prosjektmål, Pris og verdi, Prosjektleveranse for å nå mål, Bygge på; Tid, kost, kvalitet og HMS. Sette ambisiøse mål. Verktøy kasse: BIM, ICE og prosess. Kontrollerbare faktorer, kontrollerbare parametere i hverdagen, PPU 80 – 95% god flyt og fremdrift, 100% er for lite aggressivt, under 80% gir for liten forutsigbarhet. BIM er ekstremt viktig, en fundamental bærebjelke.

**2. Hvilke resultater forventer du med anvendelse av VDC?**

- Veldig vanskelig å si, ingen konkrete målinger til å støtte antakelser. Mangel på produktivitet kommer av manglende bruk av CAD modeller. Vanskelig å finne argumenter for å være å bruke, ettersom BIM er så sentralt. Stor tro på VDC som verktøy.

**3. Hva er dine personlige erfaringer med bruk av VDC?**

-

**4. Hvilke erfarte fordeler har VDC medbrakt prosjektet?**

- Bedre planlegging og gjennomføring, mer gjennomtenkt planlegging av møter, arbeid og gjennomføring. Nok til at ledelse og eiere vil satse på dette. Utførelsestrategi bygd rundt VDC. Økt kundetilfredshet og mange profesjonelle kunder forventer at dette brukes. Mer forutsigbar arbeidsprosess. Bruker verktøy på en bedre måte.

**5. Hvilke erfarte ulemper har VDC medbrakt prosjektet?**

- Svært få / ingen tenkelige ulemper, all endring er vanskelig, en motivasjon til endring. Hva er alternativer?

**6. Hva slags tilbakemeldinger har du mottatt fra prosjektdeltakende?**

- Stort spenn i motstandere til positive tilbakemeldinger, vanskelig å besvare.

**7. Vil du anbefale bruk av VDC som et standardisert rammeverk for prosjektplanlegging og gjennomføring?**

- JA, hva er alternativet?

**8. Hvilke forbedringspotensialer mener du VDC har?**

- Alt kan forbedres

**9. Hvordan strukturerer dere VDC rammeverket? Hvilke verktøy benytter dere? ICE, Big Room, LPS, målinger etc.**

- Ikke et spesifikt rammeverk, men det benyttes: Big Room i alle kontor og på byggeplass, ICE – prosjekteringsmetodikk (agenda, innkalling, måling av møter, ikke DEEPAND), LPS brukes aktivt i lappeformat, PPU målinger ingen standardiserte målinger.

**10. Hvordan foregår møtene? Hvilke punkter gjennomgås? Hvem deltar? BigRoom, LPS, målinger / DEEPAND, tilstedeværelse av brukerrepresentant.**

- agenda, innkalling, måling av møter, ikke DEEPAND, deltakere avhengig av relevant tema

**11. Hva slags prosessmålinger benytter dere? PPU (prosent planlagt/utført), møteeffektivitet, etc.**

- Faste målinger på møteeffektivitet, PPU

**12. Hvordan følges VDC opp under byggeprosessen? BIM stasjon, målinger, etc.**

-

**13. Har du noen kvantifiserbare data som beskriver hvordan VDC påvirker det endelige produktet eller planleggingsprosessen?**

- Ingen faste kvantifiserbare data

**14. Brukes Automatiseringsdelen av VDC?**

- Brukt robot aktivt i enkle arbeidsprosesser som boring av oppheng i betong, men har liten påvirkning i totalen på et prosjekt.

#### 4D BIM

**1. Hva er dine personlige erfaringer med bruk av 4D?**

- Har brukt 4D-verktøyer, og ser potensiale

**2. Hvilke resultater forventer du med anvendelse av en 4D-modell?**

- Bedre forståelse for planen, muligheter til å verifisere plan opp mot byggbarhet

**3. Hvilke erfarte fordeler har 4D medbrakt prosjektet?**

- Økt kommunikasjon, kunne kvantifisere hva som er planlagt, måle hva som blir bygd hver dag, måle prestasjoner fra dag til dag.

**4. Hvilke erfarte ulemper har 4D medbrakt prosjektet?**

- Tunge verktøy

**5. Hvilken effekt har bruk av 4D hatt på:**

**-Produktivitet / Effektivitet:** Vanskelig å kvantifisere

**-Kommunikasjon mellom prosjektdeltakende:** Definitivt økt kommunikasjon, mer forståelig en Gantt-diagrammer, intuitivt og lett tolket, lettere å forstå for prosjektdeltakende

**-Oppdagelse av feil og kollisjoner:** Kollisjonstester foretas helst i 3D, ser feil enklere ved visualisering, finner logiske brister, svært godt verktøy

**-Prosjektoversiktighet:** Økt gjennomsiktighet, lettere å forstå hva som foregår i prosjektet

**-Utførelsesstrategi:** Jobber med å implementere i prosjektet, ikke «Hollywood BIM», brukes til reelle bruksmodeller

**-Forutsigbarhet:** Øker forutsigbarheten

**-Endringer og forsinkelser:** Identifiserer endringer før byggeplass

**6. Hva karakteriserer en god 4D-modell?**

-

**7. Hvor høy detaljgrad iht. 3D BIM og fremdriftsplan, vil du påstå må til for å produsere en god 4D-modell?**

- På grovt grunnlag og ekstremt detaljert, prøv å finne en mellom ting. Ha en gjennomføringsmodell som er fleksibel nok til å ta variasjon, samtidig som du skal ha en visualisering som er beskrivende nok til å forutse et problem.

**8. Hva er din helhetlige oppfatning av 4D? Er det verdt forarbeidet, kostnader og tidsbruken?**

- Ja

**9. Hva slags tilbakemeldinger har du mottatt fra prosjektdeltakende?**

- Svært positivt, ser nytten av BIM

**10. Vil du anbefale bruk av 4D BIM som en standardisert metode for prosjektplanlegging?**

- Ja, vanskelig å finne argumenter for Gantt-diagram - for mye informasjon

**11. Hvilke forbedringspotensialer for 4D BIM vil du anbefale?**

- Lettere grensesnitt på 4D programvarer, relativt høy terskel for bruker

**12. Hva slags 4D programvarer benytter dere?**

- Synchro Pro, ikke funnet noen bedre alternativer enda

**13. På hvilken måte anvender dere 4D BIM i byggeprosjekter?**

- Jobber med å standardisere 4D i byggeprosjekter, et strategisk satsningsområde

**14. Hvordan tilpasses planleggingen av prosjektet 4D-modellen?**

-

**15. Er utvikling av en 4D-modell teknisk krevende?**

- Programvare er litt unødvendig tunge, skulle ønske at de var litt enklere.

**Tilleggsspørsmål: Har dere personer som jobber spesifikt med 4D BIM?**

- Det finnes spesialister på programmet innad i firmaet, men som ikke jobber spesifikt bare med 4D.

**16. Anvendes VDC prinsipper i kombinasjon av 4D? ICE møter, Big Room, målinger etc.**

- Avhengig av møte tema, men til en viss grad, ja

**17. Hvordan praktiseres tverrfaglig samhandling iht. 4D-modellen?**

-

**18. Har du noen kvantifiserbare data som beskriver hvordan 4D BIM påvirker det endelige produktet eller planleggingsprosessen?**

-

## VDC

### Generelt:

#### **13. Hva mener du inngår i begrepet Virtual Design & Construction?**

- Innføre systematikk i prosjektgjennomføringen, fokus på møtestruktur, målinger og andre verktøy som hjelper å systematisere prosessen.

#### **14. Hvilke resultater forventer du med anvendelse av VDC?**

- Redusert tidsbruk, pengebruk og tid brukt til omarbeiding.

#### **15. Hvilke erfarte fordeler har VDC medbrakt prosjektet?**

- Et bedre system og større forståelse for prosjektet. Lærer mye om andre fag.

#### **16. Hvilke erfarte ulemper har VDC medbrakt prosjektet?**

- Tar tid å implementere og forstå, opplæring.

#### **17. Hva slags tilbakemeldinger har du mottatt fra prosjektdeltakende?**

- Nysgjerrige og positive, men noen er litt skeptiske.

#### **18. Vil du anbefale bruk av VDC som et standardisert rammeverk for prosjektplanlegging og gjennomførelse?**

- Ja, men ikke alle elementer kan anvendes i alle prosjekt, ettersom et hvert prosjekt er unikt.

#### **19. Hvilke forbedringspotensialer mener du VDC har?**

- Komplekst og omfattende begrep, ingen klar linje, bør ha en klarere avgrensning.

#### **20. Hvordan strukturerer dere VDC rammeverket? Hvilke verktøy benytter dere? ICE, Big Room, LPS, målinger etc.**

- Hovedtyngde i ICE og møtemetodikk, aktivt bruk av BIM, målinger, prosess: rammeverk for tverrfaglig prosjektgjennomføring.

#### **a. Oppfølgningsspørsmål: Hva består prosjektgjennomføringsmodellen av?**

- Eget faglig mappesystem med forskjellige steg, sjekkpunkter og faser med faglige beskrivelser for tverrfaglig arbeid. Inneholder: konkrete arbeidsbeskrivelser, analyser, beregninger og dokumenter som knyttes opp mot sjekkpunkter/milepæler. Fremmer samkjøring mellom fagdisiplinene. Et system innad i Multiconsult, kan være problematisk med samarbeid utenforstående. Inspirert av VDC og LPDS, har blitt delvis utviklet i samarbeid med CIFE. Er et svar på automatiseringsdelen av VDC.

**21. Hvordan foregår møtene? Hvilke punkter gjennomgås? Hvem deltar? Big Room, LPS, målinger / DEEPAND, tilstedeværelse av brukerrepresentant.**

- Benytter Big Room mest mulig, felles samling i begynnelsen for å skape oversikt, særmøter; deler møte til relevante faggrupper, eller henter inn og sender ut faggrupper avhengig av tema. Forsøker å samle alle beslutningstakere i samme rom, men kan delta gjennom Skype konferanse.

**22. Hva slags prosessmålinger benytter dere? PPU (prosent planlagt/utført), møteeffektivitet, etc.**

- Ikke fastsatte målinger, avhenger av prosjektet, prosjektgruppen bestemmer hva de ønsker å bli målt på, eks. måling av responstid på informasjonsformidling gjennom mail, møteforberedelse og møtekvallitet, etc.

**23. Hvordan følges VDC opp under byggeprosessen? BIM stasjon, målinger, etc.**

-

**24. Har du noen kvantifiserbare data som beskriver hvordan VDC påvirker det endelige produktet eller planleggingsprosessen?**

-

4D BIM

**19. Hva er dine personlige erfaringer med bruk av 4D?**

- Ikke mye erfaring, vet godt hva det er og har forståelse for 4D. Benytter hovedsakelig 3D BIM. Jobber fortsatt aktivt med å innføre 3D BIM i en litt motvillig bransje.

**20. Hvilke resultater forventer du med anvendelse av en 4D-modell?**

- Stor fordel for entreprenør og byggeplass, styrker en konsulents kontakt med byggeplass, bidra til linjestrømmet hverdag, øke kommunikasjon og gjennomsiktighet, planlagt fremdrift i forhold til utført arbeid.

**21. Hvilke erfarte fordeler har 4D medbrakt prosjektet? (ikke erfart, men antagelse)**

- Redusere omprosjektering, kommunisere tydelig med utførende part, fastsette rekkefølger, medfører et tettere samarbeid, konsulenter får større innblikk i byggeprosessen, kan lære mye. Forenkle informasjonen, mer transparent prosjekt.

**22. Hvilke erfarte ulemper har 4D medbrakt prosjektet? (ikke erfart, men antagelse)**

- Kan bruke mye tid på å produsere en modell, blir nødvendigvis ikke benyttet

**23. Hvilken effekt har bruk av 4D hatt på: (ikke erfart, men antagelse)**

- **-Produktivitet / Effektivitet:** Tilføre datoer for leveransetider i større grad, en mer oversiktlig plan, hindre omprosjektering, forventer stor påvirkning
  - **-Kommunikasjon mellom prosjektdeltakende:** Konsulenter får bedre kontakt med byggeplass
  - **-Oppdagelse av feil og kollisjoner:** Oppdager feil i planleggingsfase kontra byggefase
  - **-Prosjektoversiktligheit:** God oversiktligheit
  - **-Utførelsesstrategi:**
  - **-Forutsigbarhet:** Øker forutsigbarheten, kan eliminere mengden uforutsette hendelser, kjempe potensiale for å spare penger.
  - **-Endringer og forsinkelser:** Slippe omprosjektering.
24. **Tilleggsspørsmål: Vil det være mer effektivt å inkludere entreprenør/utførende part tidligere ved utvikling av en 4D-modell:**
- Forutsetter ofte totalentrepriser, men absolutt, får et bedre innblikk i byggeprosessen. Fungerer dessverre sjeldent slik, entreprenør kommer som oftest inn for sent i planleggingsprosessen
25. **Hva karakteriserer en god 4D-modell?**
- 
26. **Hvor høy detaljgrad iht. 3D BIM og fremdriftsplan, vil du påstå må til for å produsere en god 4D-modell?**
- Avhenger av prosjekt, jo mer detaljer jo bedre forutsatt at denne informasjonen er nødvendig for brukeren. Enkelte prosesser trenger ikke å være detaljert, det viktigste er tidspunkt for når arbeidet skal utføres, ikke interne detaljer.
27. **Hva er din helhetlige oppfatning av 4D? Er det verdt forarbeidet, kostnader og tidsbruken?**
- Ja, men det forutsettes at det er kompetanse til å produsere modell og at modellen brukes aktivt.
28. **Hva slags tilbakemeldinger har du mottatt fra prosjektdeltakende?**
- 
29. **Vil du anbefale bruk av 4D BIM som en standardisert metode for prosjektplanlegging?**
- Ja, det har en enorm verdi, men må legges på et nivå som gjenspeiler prosjektet og detaljnivå.
30. **Hvilke forbedringspotensialer for 4D BIM vil du anbefale?**



## AINA SUNDE-DAHL – MULTICONSULT

Ved stadiet i oppgaven hvor Dahl ble intervjuet var ikke intervjuguiden enda utviklet, men møtet var mer ment som en innføring i generell VDC struktur og erfaringer i Multiconsult. Emnene som ble gjennomgått var basert på disse punktene som ble utarbeidet før møtet.

- Fortelle om bruk av VDC i prosjekter
- Fortelle om VDC rammeverket benyttet av Multiconsult, brukes Last Planner Method?
- Utdype prosjektgjennomføringsmodellen til Multiconsult
- Beskrive Multiconsults tolkning av møtemetodikken ICE
- Beskrive og henvise til eksempler på reelle VDC målinger
- Presentere bruk av ProWise skjermer og Big Room
- Formidle informasjon om et reelt prosjekt, om mulig

Etter som dette var en praktisk presentasjon ble det ført minimalt med notater under sesjonen.

## JUDITH KARIN GAMMAN – KRISTIANSAND EIENDOM

På grunn av manglende erfaringer og kunnskaper innen bruk av VDC og 4D BIM i kommunen, har det blitt foretatt et intervju som fokuserer på å belyse aktørens holdninger og forventninger i forhold til emnet, fremfor hvordan de benytter seg av metodikkene. Intervjuguiden har dermed ikke blitt fulgt til punkt og prikke, men enkelte spørsmål har blitt stilt og oppfulgt naturlig i intervjuet. Intervjuet brukes også for å få tilgang på spesifikke detaljer tilknyttet planleggingsprosessen i Omsorgsboliger Strømme, ettersom Judith er prosjektleder i dette prosjektet.

- Ikke familiær med de spesifikke begreper under VDC.
- Har undersøkt bruk av BIM i andre bedrifter som Kruse Smith, presentasjoner o.l.
- Opplever at det er mer ambisjoner enn hva som er mulig å få til.
- Har etablert Big Room for å få en bedre møtegang. Inneholder bord i hesteko, interaktiv skjerm, dataskjerm tilkoblet 3D BIM og utstyr til ekstern konferanse.
- Målinger i prosjektet er veldig interessant, men oppleves som vanskelig. Ikke brukt i dag. Ønsker spesielt målinger på hvor langt prosjekteringen er kommet. Ønsker større kontroll over prosjektet.
- Ikke kjent med LPS, kun tradisjonell fremdriftsplanlegging. Er i hovedsak entreprenører som tar seg av fremdriftsplanlegging og antar at de benytter seg av slikt.
- Ikke så opptatt av sertifiseringer og begrep, er mer opptatt av hva en faktisk gjør.
- Involverer en byggeleder fra entreprenør i planleggingsfasen slik at utførende del får evaluert prosjektet i henhold til byggbarhet.
- Byggherre ønsker å bidra til å trekke bransjen, men er litt forsiktige for å være sikre på at alle blir med. Samarbeider med ulike aktører i bransjen. Opplever at entreprenører har kommet lengst.

### Spesifikke spørsmål og svar:

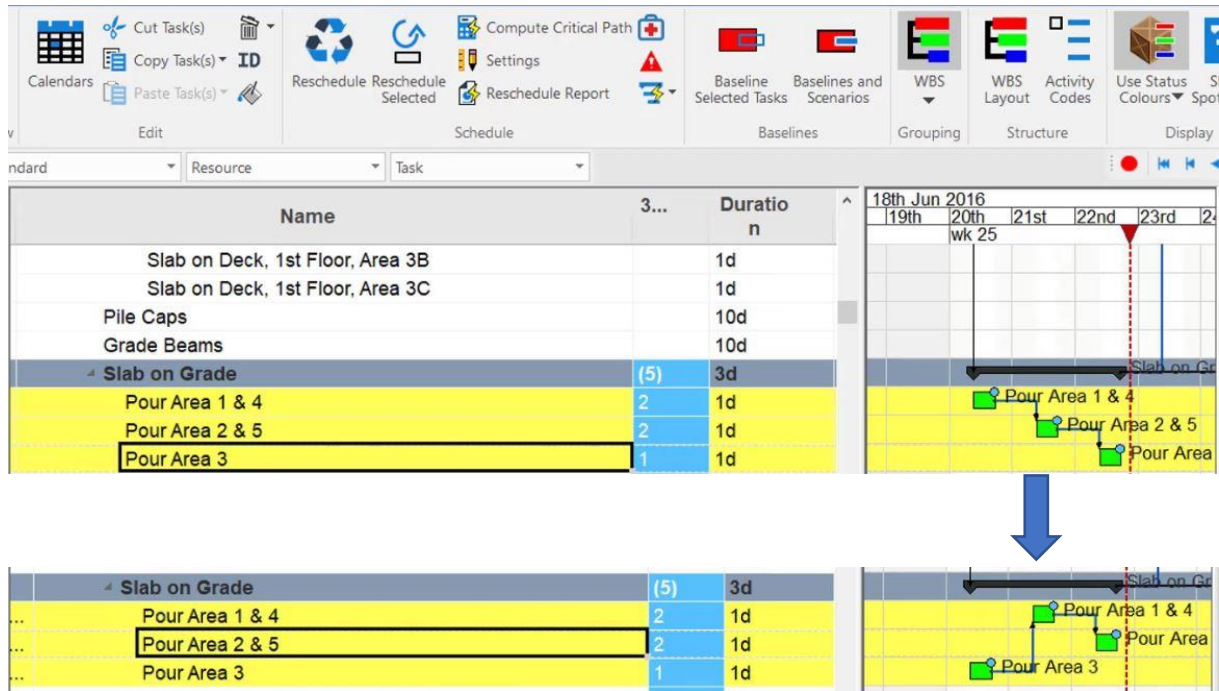
- **Hva mener du inngår i begrepet Virtual Design & Construction?**  
Hvordan gjennomføre prosjektet, bruk av sunn fornuft og eksisterende metodikk.
- **Hvilke fordeler og ulemper forventer du at VDC har medbrakt prosjektet:**  
Fordel: At rådgiverne får formidlet det de har tenkt, og blir tvunget til å tenke på praktiske detaljer.  
Ulempe: Opplever at bransjen ikke er helt klar enda. Ved å kreve for mye kan byggherre miste tilbydere, ønsker å få bygget reist til en fornuftig pris, møte markedet.
- **Vil du anbefale bruk av VDC som et standardisert rammeverk for prosjektgjennomføring?**  
Ja, begrepene er ikke kjent, men prosessen er til å anbefale.
- **Hvilke resultater forventer du med anvendelse av 4D BIM?**  
Spesielt en fordel for entreprenøren, mer tydelig fremdriftsplanlegging. Bedre kontroll over logistikk.
- **Hvor høy detaljgrad anser du som nyttig i en 4D BIM?**  
Riktig nivå mellom kostnad/nytte, hva er viktig.

### Omsorgsboliger Strømme

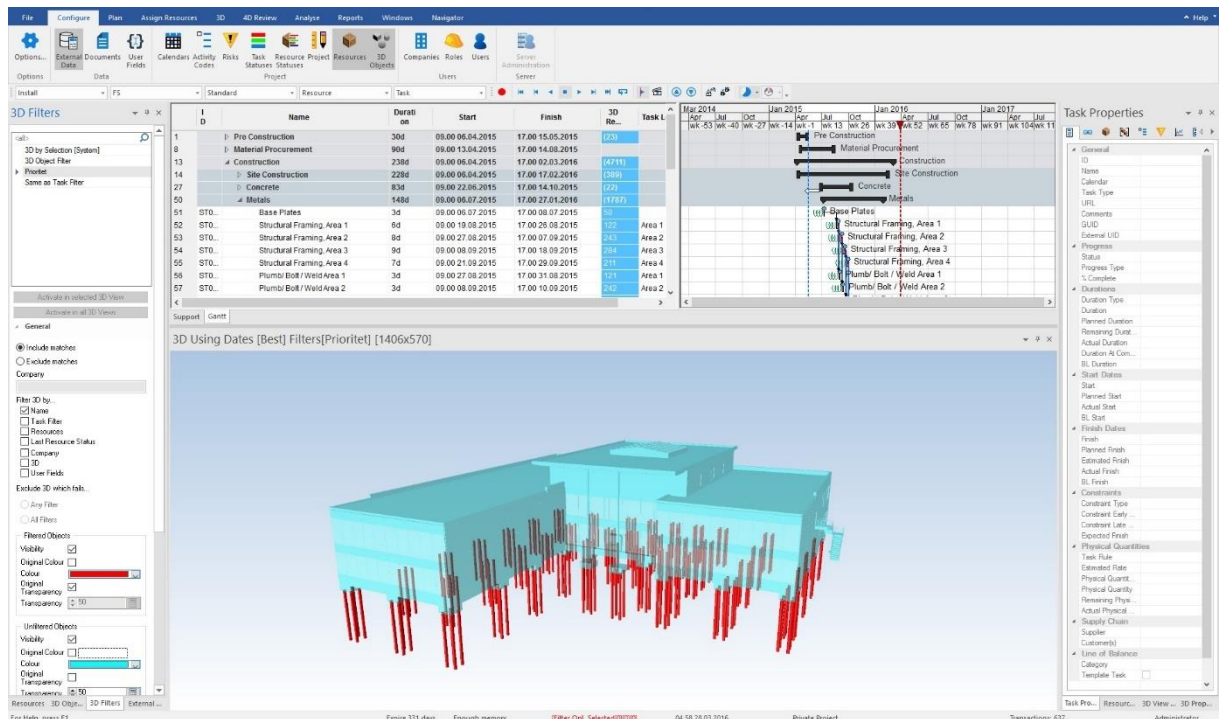
- Ble strukturert som en delentreprise for at byggherren skulle ha kontroll på prosjekteringen så lenge som mulig. Ikke bare beskrive og gi det fra seg.
- Involverer byggherre fra entreprenør tidlig for å sjekke prosjektering iht. byggbarhet.
- Vurderer å bruke baderomskabiner, ferdige baderomselementer.
- Benytter Big Room til prosjekteringsmøter (fra april 2018).
- Har ambisjoner om et «tegningsløst» prosjekt, kun bruk av BIM
- Krever bruk av BIM stasjoner på arbeidsplass.
- Ønsker bruk av nettbrett på arbeidsplass, men foreløpig er det kun en programvare som er kompatibel med nettbrett, vil ikke låse seg til kun en programvare.

### 9.3 SYNCHRO PRO – FUNKSJONER

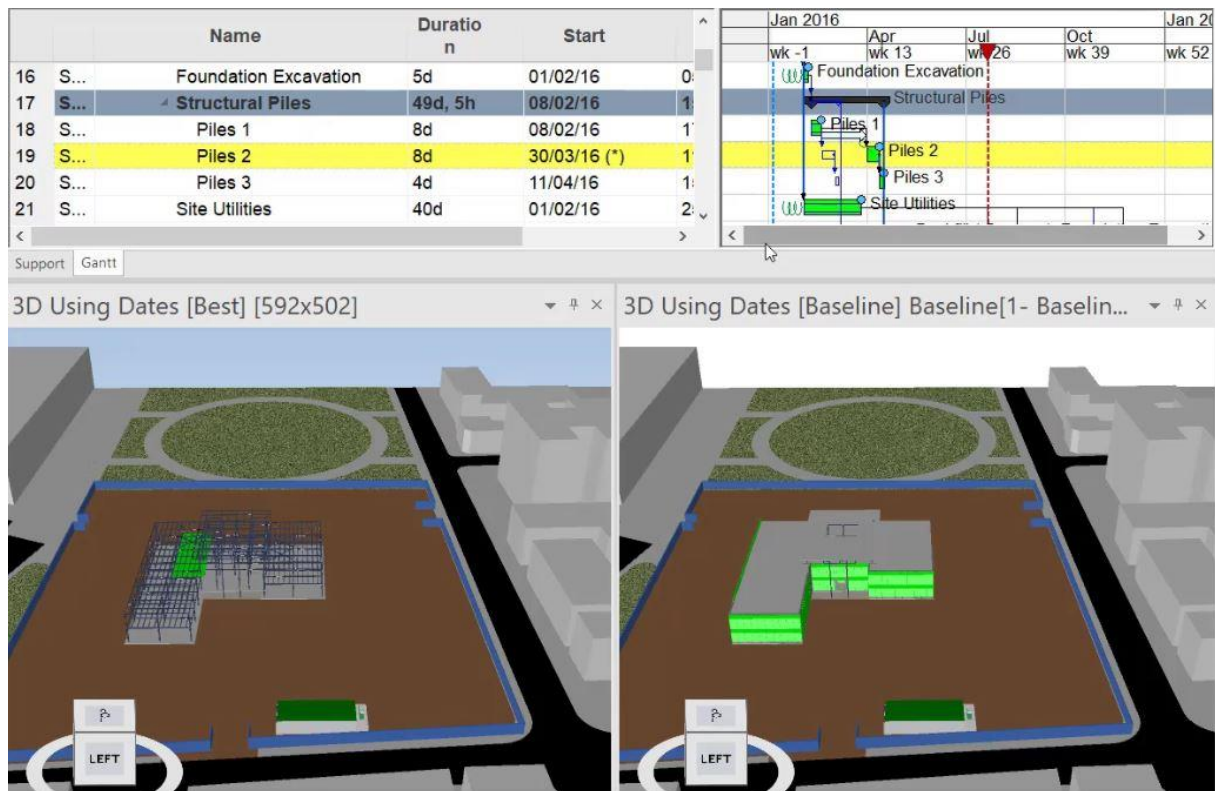
Alle følgende bilder er hentet fra opplæringsmodulene i Synchro Academy [39]:



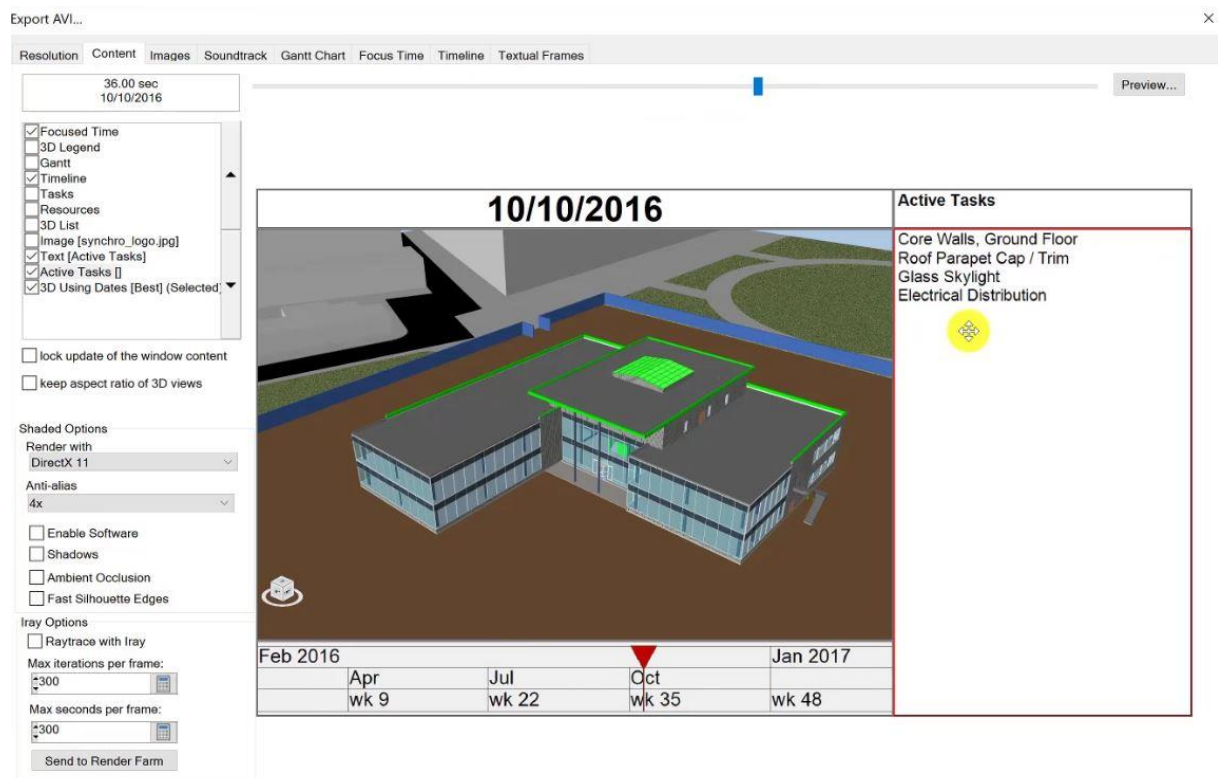
FIGUR 35: ILLUSTRASJON AV "RE-SCHEDULING" FUNKSJON



FIGUR 36: ILLUSTRASJON AV "APPEARANCE PROFILES" FUNKSJON



FIGUR 37: ILLUSTRASJON AV "BASELINES AND SCENARIO" FUNKSJON



FIGUR 38: ILLUSTRASJON AV "REPORT" FUNKSJON