



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp  
Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT)

# **Effektivisering av byggeprosessen ved bruk av modellbasert bygging**

Optimization of the building process using  
model-based design

Olga Budarina  
Byggeteknikk og arkitektur

## Sammendrag

Konvensjonelle 2D tegninger er dypt forankret i byggebransjen, fra anskaffelsesprosessen til installasjon på byggeplassen. Men er 2D tegninger fortsatt den beste måten å kommunisere mellom aktørene i byggebransjen med den teknologien som finnes per i dag?

Det er en utbredt oppfatning at produktiviteten i byggenæringen har vært avtagende de siste ti-femten årene. «Tegningsløst» design kan være en vei ut av uføret med den stadig fallende produktiviteten. Alle aktørene i verdikjeden må imidlertid se mulighetene som ligger i denne metoden - både byggherre, rådgivende og utførende, før man kan realisere effektivitetsgevinstene.

Hensikt med denne oppgaven var å undersøke om en tegningsløs byggeplass vil kunne effektivisere byggeprosessen og hvilke forutsetninger er i så fall nødvendige.

Som hovedcase for undersøkelsen ble Smisto kraftverk valgt. Smisto er ett av de første prosjektene som utfordrer tradisjonell bruk av 2D tegninger som et prosjekteringsgrunnlag i et byggeprosjekt. Ved å benytte forskjellige programvareverktøy slik som Revit, Autocad Civil 3D, Infracore, Dynamo, Solibri og andre teknologier, har hvert enkelt element blitt modellert og strukturert i en bygningsinformasjonsmodell (BIM). Geometri i BIMen suppleres med ulike typer data som ble lagt inn på objektnivå i modellen. Til sist ble denne modellen levert til utførende uten å gå omveien gjennom tegninger.

Resultatene fra undersøkelsen viser at en direkte dataflyt mellom partene i prosjektet, når all kommunikasjon foregår ved hjelp av modellene, har effektivisert byggeprosessen betydelig. Det minimerer tidskrevende manuelle operasjoner, for eksempel ved behov å etablere og vedlikeholde et komplett sett med 2D tegninger. I tillegg reduserer det også mulige feilkilder.

I tillegg er BIMen en utmerket plattform for utveksling og gjenfinning av informasjon, og bruk av modellen forbedrer tverrfaglig koordinering og kontroll.

Utvidet bruk av modeller skaper et effektivt verktøy for planlegging, som omfatter både prosjektering- og utførelsesarbeider.

Byggeprosessen kan visualiseres på en bedre måte og visualiseringen gir en utmerket oversikt over et byggeprosjekt.

Det er også viktig at bruk av BIMen uten tegninger, tilrettelegger for direkte mengdeuttak fra modellen på hvilket som helst tidspunkt og dette forenkler masseberegning.

Data fra empiri viser at et godt og tett samarbeid mellom prosjekterende og utførende, med kontinuerlig kommunikasjon, er helt nødvendig for å lykkes med et tegningsløst byggeprosjekt.

En annen viktig suksessfaktor er forståelse av prosessen og kjennskap til dataverktøy som lar en bruke BIM-modell og håndtere informasjon i modellen. Uten det får man ikke dra nytte av modellen og benytte den i full skala. Foreløpig ligger det en betydelig begrensning i kompetanse hos utførende på byggeplassen. Derfor er det viktig å bruke tid på opplæring av dem som skal jobbe på prosjektet, slik at de som skal lage eller bruke modellen har tilstrekkelig kompetanse på dataverktøyene.

Det er uunngåelig at arbeidsrutiner i et tegningsløst prosjekt må endres hos både prosjekterende og utførende. Men det kan variere hvem som må gjøre større innsats for å få det til i ulike prosjekter.

Norsk byggenæring har allerede hatt erfaring med delvis tegningsløse prosjekter, for eksempel prosjekter med 3D armering. Smisto kraftverk tok videre med utvikling av en metode for et tegningsfritt modellbasert prosjekt. I det overnevnte prosjektet har alle disiplinene levert modeller uten tegninger. I fremtiden vil tegningsfrie modellbaserte prosjekter bli mer vanlige.

## Abstract

Conventional 2D Drawings are deeply entrenched in our industry from academia to contracts, through to installation of the final product at the construction site. However, are 2D drawings the most efficient method to communicate between the project participants, with the technology provided today?

The popular conception is that productivity in the construction industry has been declining the last 10-15 years. In order to leverage improved production efficiency without 2D drawings, the whole supply chain (owner, engineers, contractors and suppliers) need to recognize the value opportunity for the project.

The main purpose of this paper was to research if the construction site can function with no 2D drawings, and if this would improve the effectivity of the building process.

The main case chosen for the research is Smisto Hydropower. The Smisto Hydropower project is one of the first projects to challenge the traditional use of 2D drawings as a design basis in a project. Using Revit software, AutoCAD Civil 3D software, InfraWorks software, the Dynamo extension, Navisworks software, and other technologies, every element of the project has been designed and structured in Building Information Models (BIM) and issued to the contractor without the preparation of 2D drawings.

Results of the research show that the direct data flow between the parties through the 3D/BIM-models brings significant improvements. It minimizes time-consuming manual operations, such as the need of establishing and maintaining a complete set of drawings. This, in turn, reduces possible sources of errors.

What we can add is that BIM is excellent platform for exchange and retrieval of information and use of the model enhances interdisciplinary coordination and control.

The extended use of models creates an efficient tool for scheduling; this includes the design as well as the execution works.

In addition, BIM is used as visual tool providing an excellent overview of a construction project.

Another point is that use of BIM provides direct retrieval of relevant quantities at any given stage of the project and simplified volume calculations.

Data collected from empirical research shows that a good cooperation between project team and contractor is crucial for success of “drawingless” design.

The BIM models, combining element geometry and information parameters, make all information from the design phase available when needed, with the only, but significant, barrier being the necessary use and understanding of a computer program at the construction site. This underlines the importance to spend time training the participants on the project, so they can use BIM fully with its tools after attaining the appropriate competence level in using the software.

It is unavoidable that both contractor and project group have to adjust their working routines in order to achieve success in a “drawingless” project. However, it can vary who has to make bigger efforts to make it happen in different projects.

The Norwegian building industry previously piloted partially drawingless projects, for instance projects with 3D reinforcement. Smisto Hydropower continued to develop a method for a model-based project with zero drawings. In the case project, all the disciplines have delivered models with no need for supplying drawings. In future, model-based projects will become more common.

## Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	I
Abstract .....	III
Innholdsfortegnelse .....	V
Figurliste .....	VIII
Tabelliste .....	X
1 Innledning og problemstilling.....	1
1.1 Bakgrunn .....	1
1.2 Problemstilling .....	2
1.3 Mål .....	2
1.4 Avgrensninger .....	3
2 Teori.....	4
2.1 Aktører i byggenæringen og entreprisereformer.....	4
2.2 Produktivitetsutviklingen i byggenæringen .....	5
2.3 Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) .....	6
2.3.1 Hva er BIM .....	6
2.3.2 Muligheter og gevinster .....	7
2.3.3 Åpen BIM .....	8
2.3.4 Verktøy.....	9
2.4 Modellmodenhet.....	11
2.4.1 Utviklingsnivå av BIM-modell .....	11
2.4.2 Grunnleggende LOD-definisjoner.....	12
2.4.3 Level of Development vs. Level of Detail .....	13
2.4.4 Objektstatus i BIM-modell .....	15
2.4.5 MMI - Modellmodenhetsindeks .....	17
2.5 Kontroll og kvalitetssikring av prosjekteringsunderlag .....	17
2.5.1 Kontrolltyper .....	18
2.5.2 Generelle prinsipper for kontroll i oppdrag .....	18
2.5.3 Bruk av sjekklister ved kontroll .....	19
2.5.4 Kontroll mot eksterne dokumenter .....	19
2.5.5 Kontroll av dokumenter fra underleverandører .....	19
2.5.6 Kontroll etter Plan- og bygningsloven (PBL) – Uavhengig kontroll.....	19
2.5.7 Dokumentasjon og arkivering.....	20
2.5.8 Kontroll og kvalitetssikring ved modellbasert prosjektering .....	20
3 Metode/forsøksplaner .....	21

3.1 Vitenskapsteori og forskningsdesign .....	21
3.1.1 Vitenskapelig tilnærming .....	22
3.1.2 Vitenskapelig metode .....	23
3.2 Valg av metode for datainnsamling .....	24
3.2.1 Litteraturstudium .....	25
3.2.2 Case-studie og direkte informasjon gjennom arbeid i prosjekt .....	26
3.2.3 Intervjuer .....	31
3.3 Resultatenes troverdighet .....	32
3.3.1 Validitet .....	33
3.3.2 Reliabilitet .....	33
3.3.3 Diskusjon av feilkilder.....	33
4 Resultater.....	35
SMISTO .....	35
4.1 Grunnlag for gjennomføring av prosjektet .....	35
4.2 Planlegging og prosjektering .....	35
4.3 Metode for utvikling og implementering av modellbasert gjennomføring.....	37
4.4 Utvidet bruk av BIM-modeller .....	38
4.4.1 Modellhierarki.....	38
4.4.2 Modellutveksling med side- og underentrepriser .....	39
4.4.3 Kvalitet og status på objektnivå i modellen .....	40
4.4.4 Bruk av kvalitets- og statusnivå for prosjektplanlegging og –styring. Leveransepakker.....	43
4.4.5 Kontroll og kvalitetssikring i prosjektet .....	43
4.4.6 Eksport til arbeidsunderlag fra fagmodell .....	48
4.4.7 Informasjon og arbeidsunderlag i tverrfaglig modell.....	49
4.4.8 Tilpasning av prosjekteringsgrunnlag i forhold til utførelse.....	54
4.4.9 Prosjekteringsgrunnlag for betongarbeider .....	56
5 Diskusjon og drøfting av resultatene.....	58
5.1 Effekter ved bruk av ny metode for modellbasert bygging uten tegninger .....	58
5.2 Hvilke forutsetninger er nødvendige for at et tegningsløst prosjekt skal lykkes? .....	64
5.3 Hvem bør endre sine arbeidsmetoder for å få det til? .....	65
5.4 Hvor er det vi lykkes i dag? .....	71
5.5 Hvor kan vi bli bedre?.....	71
5.5.1 Prosess .....	71
5.5.2 Verktøy.....	76

6	Konklusjoner .....	78
7	Videre arbeid.....	79
8	Litteratur, ref.....	80
9	Vedlegg.....	83



## Figurliste

Figur 1 Produktivitet for Industri og Bygg og Anlegg (Smart bygging, 2015) .....	5
Figur 2 BIM-prosess (CooperIndustries, 2017) .....	6
Figur 3 Utviklingsnivå av et BIM-objekt (McPhee, 2013) .....	14
Figur 4 DOD vs LOD (McPhee, 2013) .....	15
Figur 5 Definisjon av Modellmodenhetsindeks .....	17
Figur 6 Forskningsløken - Ulike nivå for valg av forskningsmetode (Saunders et al. 2015) .....	21
Figur 7 Forskningsdesign. Typer og bruksområder (Sander, 2016) .....	22
Figur 8 SMISTO: presentasjon av digital modell i Infracore .....	29
Figur 9 VAMMA kraftverk: eksisterende anlegg .....	30
Figur 10 Utvikling av prosjektet ved tradisjonell prosjektering .....	36
Figur 11 Lineær tilnærming for strukturering av en prosessprosess i delfaser .....	36
Figur 12 Fem utviklingstrinn ved «flettet» BIM-konsept (Kilian, 2015) .....	37
Figur 13 Modellhierarki i SMISTO prosjektet .....	39
Figur 14 Prosess for utveksling av modeller med eksterne aktører .....	40
Figur 15 Visualisering av objektstatus i modellen .....	42
Figur 16 BIM-modell delt opp i leveransepakker .....	43
Figur 17 Overordnet prosessbeskrivelse for kontroll i modell .....	45
Figur 18 Liste med regelsjekk fra Solibri .....	46
Figur 19 Kontrollpunkt fra sjekklister i excel KS RIB.04 .....	46
Figur 20 Solibri lister opp modellelementer som ikke tilsvare krav fra et regelsjekk .....	47
Figur 21 En visning fra BCF-rapport i Solibri med kommentarer fra ansvarlig for sidemannskontroll og utførende .....	48
Figur 22 Inndeling av eksport til arbeidsunderlag .....	48
Figur 23 Takeoff Betong-ID for leveransepakke L06 .....	52
Figur 24 Forenklet modellstruktur .....	54
Figur 25 Revit modell og oppmåling etter utgraving for kraftverk .....	55
Figur 26 BIM modell, gjennomføring og kontroll av geometri for betong kranbjelke .....	56
Figur 27 Eksempler på utsnitt tatt fra BIM-modell for utførelse av betongarbeider ... ..	57
Figur 28 Sortert på farge armeringsjern som får host-ID fra betongelementer .....	57
Figur 29 Tidsfordeling ved produksjon av BIM-modell og tegninger i detaljfase (Kensek, 2014) .....	58
Figur 30 Forskjell i timer mellom vanlig og tegningsløst prosjekt .....	60
Figur 31 Oversikt over revisjoner for S4 i Smisto prosjektet .....	61
Figur 32 2D tegning vs BIM modell .....	63
Figur 33 Predefinerte 3D visninger med målsetning (Handagard, 2016) .....	65
Figur 34 IFC-fil med ustrukturerte egenskaper .....	66
Figur 35 Eksport til IFC med alle egenskaper .....	67
Figur 36 Eksport til IFC med egenskaper fra tabeller .....	67
Figur 37 Eksport til IFC med brukerstyrte egenskaper .....	68
Figur 38 Et sett med egenskaper for entreprenør .....	69

Figur 39 Filtrering av data ved hjelp av iConstruct (Handagard, 2016).....	70
Figur 40 Modellstruktur: før og etter bruk av iConstruct.....	70
Figur 41 Oversikt over prosesstatuser for hver milepel for Hydro Karmøy .....	72
Figur 42 Objekthierarki på Hydro prosjektet .....	72
Figur 43 Eksempel på sjekkspørsmål på Hydro prosjektet.....	73
Figur 44 Bruk av 3D visninger og schedules for å visualisere kontrollobjekttyper (Hydro Karmøy) .....	74
Figur 45 Kvalitetskontroll utføres i fagmodell (Hydro Karmøy).....	74
Figur 46 Kontrollobjekttyper i modellen .....	75
Figur 47 Målsetning i 3D modell kan være en utfordring (Handagard, 2016) .....	76
Figur 48 VDI i praksis: Solibri Model Checker på mobil.....	77

## Tabelliste

Tabell 1 PROSESSTATUS IFT. BUILDINGSMART NORGE .....	16
Tabell 2 TYPER AV KONTROLL I OPPDRAG .....	18
Tabell 3 METODER FOR INNSAMLING AV INFORMASJON (GHAURI & GRØNHAUG, 2010) .....	24
Tabell 4 SØKEORD OG -KOMBINASJONER .....	25
Tabell 5 STATUSNIVÅER PÅ OBJEKTER.....	41
Tabell 6 KONTROLL I DETALIPROSJEKTERINGSPROSESSEN .....	45
Tabell 7 INFORMASJON FRA CIVIL3D .....	49
Tabell 8 DWG-EKSPORT FOR ARBEIDSUNDERLAG FRA REVIT .....	49
Tabell 9 GENERELL INFORMASJON FOR ALLE ELEMENTER PROSJEKTERT I TVERRFAGLIG MODELL.....	50
Tabell 10 INFORMASJONSFANER I SOLIBRI FOR ELEMENTER.....	50
Tabell 11 PARAMETERE SOM SORTERES PER INFORMASJONSFANE .....	51
Tabell 12 UTVALG AV ITO'ER DEFINERT FOR SMISTO PROSJEKTET FOR OPPLISTING OG VISUELL VISNING .....	53
Tabell 13 SORTERT INFORMASJON FRA MODELL FOR ARBEIDSUNDERLAG .	54
Tabell 14 TIMEBUDSJETT I ET KONVENSJONELT PROSJEKT OG SMISTO .....	60

# 1 Innledning og problemstilling

## 1.1 Bakgrunn

Bakgrunnen for prosjektoppgaven var interesse fra Multiconsult om å igangsette en studentoppgave om «tegningsløs byggeplass» med modellbasert bygging. Norsk byggenæring sliter med å øke produktiviteten, og «tegningsløs» design er tenkt som ett av grepene for å øke effektiviteten og kvaliteten på norske byggeplasser.

Enkelte rådgivere i et tett samarbeid med entreprenører har fått til å levere modellbasert byggeunderlag, som entreprenørene har kunnet bruke uten å gå omveien gjennom tegninger.

Eksempler som kan trekkes frem er; Smibelg og Storåvatn kraftverk (SMISTO) hvor Multiconsult var rådgiver for Hæhre (entreprenøren). I tillegg kan det vises til Vamma kraftverk med Norconsult som rådgiver og AF Gruppen som entreprenør.

Prosjektoppgaven vil ta utgangspunkt i prosjekter der entreprenøren kun har benyttet en modell som byggeunderlag. Forfatteren vil undersøke hvordan som man kan tilrettelegge for å få ut et byggegrunnlag direkte fra modellen på den mest effektive måten.

Erfaringene fra de tegningsløse prosjektene blir oppsummert i denne oppgaven. Faktorene som har bidratt til å løse problemstillingen vil bli identifisert. Vi vil også se på relevante utfordringer og mulige løsninger på disse. Oppgaven har som formål å finne ut hva som er de viktigste drivere for at byggebransjen skal kunne gå over til å bygge kun med utgangspunkt i 3d modeller.

For å gjøre et prosjekt tegningsløst må både prosjekterende og utførende på anlegget endre sine arbeidsmetoder. Det skal ses på hvordan dette kan fungere i praksis. Det vil bli tatt flere runder med forskjellige aktører involvert i byggeprosessen for å kartlegge behov til entreprenører og prosjekterende i en prosess som involverer modellbasert bygging. Avslutningsvis skal det foreslås hvordan behovene kan dekkes basert på funn i empirien.

Oppgaven vil prøve å komme med svar på hvordan et typisk byggprosjekt må endres med hensikt til prosjektstyring og teknologi for å få til en modellbasert bygging uten tegninger.

## 1.2 Problemstilling

Etter nøye vurdering ble det definert en overordnet problemstilling. Hovedproblemstillingen har vært som følger:

- Vil en tegningsløs byggeplass effektivisere byggeprosessen og hvilke forutsetninger er i så fall nødvendige?

Foruten hovedproblemstillingen har forskningen prøvd å finne løsninger på ulike hindre relatert til oppgavens mål. Disse har konsentrert seg om å støtte hovedproblemstillingen ved å være nært tilknyttet hovedproblemstillingen eller formulert for å undersøke relaterte temaer. De mest sentrale forskningsspørsmålene har vært:

- Hvem må endre sine arbeidsmetoder for å få modellbasert prosjektering og bygging til å fungere?
- Hva må ligge til grunn for at modellbasert prosjekt skal fungere?
- Hvilke områder lykkes vi med i dag? Hva kan vi bli bedre på?
- Hva er drivere og hindre?

Problemstillingen og de øvrige forskningsspørsmålene besvares i sin helhet i diskusjonsdel, og svarene oppsummeres kort i konklusjon som følger senere i denne rapporten.

## 1.3 Mål

Hovedmålsettingen er naturlig nok å besvare forskningsspørsmål, det vil si om en tegningsløs byggeplass vil kunne effektivisere byggeprosessen og hvilke forutsetninger som i så fall er nødvendige. Målsettingen innebærer også å kunne presentere resultater av betydning for næringen og dermed kunne øke forståelsen for prinsipper i «tegningsløse prosjekter». Forhåpentligvis vil resultatene ha betydning for hvordan Multiconsult vil håndtere fremtidige prosjekter.

Det har også vært en personlig målsetting å lære hvordan rådgivere og entreprenører bør samspille i «tegningsløse» prosjekter og danne seg et bilde av deres roller i et slikt samspill.

## 1.4 Avgrensninger

For at omfanget av prosjektoppgaven ikke skulle bli for stort ble det gjort avgrensninger av oppgaven i en tidlig fase og underveis. Forfatteren har vært opptatt av å være så presis som mulig for å unngå å snevre inn problemstillingen. Rapporten skal gå i dybden på ett spesielt tema.

BIM har vært et sentralt forskningstema de siste årene. I denne rapporten ble det tidlig bestemt å betrakte BIM som en prosess som dekker steg både under prosjektering og bygging. Begge case-prosjektene som ble undersøkt, hadde benyttet BIM. Forfatterens erfaring er at de fleste store prosjekter nå bruker BIM i større eller mindre grad.

Det finnes ikke så mye publisert forskning og teori på metodikken som benyttes i tegningsløse prosjekter. Selv om det var gjennomført noen infrastrukturprosjekter der det var bygget fra modell uten tegninger, er BIM fortsatt lite implementert i praksis for bygningsprosjekter. Det betyr at det finnes lite empiri enten i den norske eller internasjonale byggebransjen om tegningsløs prosjektering og utførelse av bygningsmodeller.

Derfor er det av stor interesse for Multiconsult å samle erfaringer fra prosjekter hvor en del eller et hele objekt var bygget uten tegninger. Multiconsult vil definere en metode som kan være optimal til bruk for forskjellige prosjekttyper. Vi vil imidlertid begrense omfanget av undersøkelsen til en forskning om anleggsprosjekter.

Det er sett på prosjekter med forskjellige kontraktsformer. Det er i større grad valgt å fokusere på nødvendige endringer i arbeidsrutiner til ulike aktører, fremfor å fokusere på hvilken organisering og kontraktsform som er ideell for prosjektet. Det er som regel byggherren som legger premisser for organiseringsform, og prosjekteringsteamet har dermed sjelden mulighet til å påvirke disse faktorene. Refleksjon om dette kommer senere i denne prosessrapporten.

Endringer som må til for å få til bygging uten tegninger vil påvirke alle aktører involvert i byggeprosessen, i alle byggefaser. I rapporten velges det å se på problemstillingen fra perspektivet som prosjekterende og utførende har. Mye av fokus vil bli på samhandling mellom de to aktørene.

De påfølgende kapitlene i prosessrapporten vil gå mer i dybden av valgene som var tatt underveis, og hvilket arbeid og data som er utelatt fra selve oppgaven.

## 2 Teori

### 2.1 Aktører i byggenæringen og entrepriserformer

I et byggeprosjekt vil det normalt sett være involvert en rekke aktører. Aktørene kan ha ulike og flere roller i et prosjekt. Det finnes også flere ulike navn på samme aktør og rolle. Aktørbegrepet er som regel knyttet til organisasjoner eller firma, mens rollebegrepet ofte er tettere knyttet til konkrete personer og deres funksjon i prosjektet. Slik sett kan eksempelvis ARK være både et arkitektfirma, men også en konkret person i arkitektfirmaet, mens rollen prosjektleder vil være strengt knyttet til en person. Flere aktører påtar seg bestemte ansvarsområder i henhold til Plan- og bygningsloven, noe som gir dem flere roller i et prosjekt, hvor en rolle knytter seg til byggherrens organisering av prosjektet, og en annen rolle knytter seg til ansvarsområdet aktøren påtar seg i en byggesak i forhold til Plan- og bygningsloven.

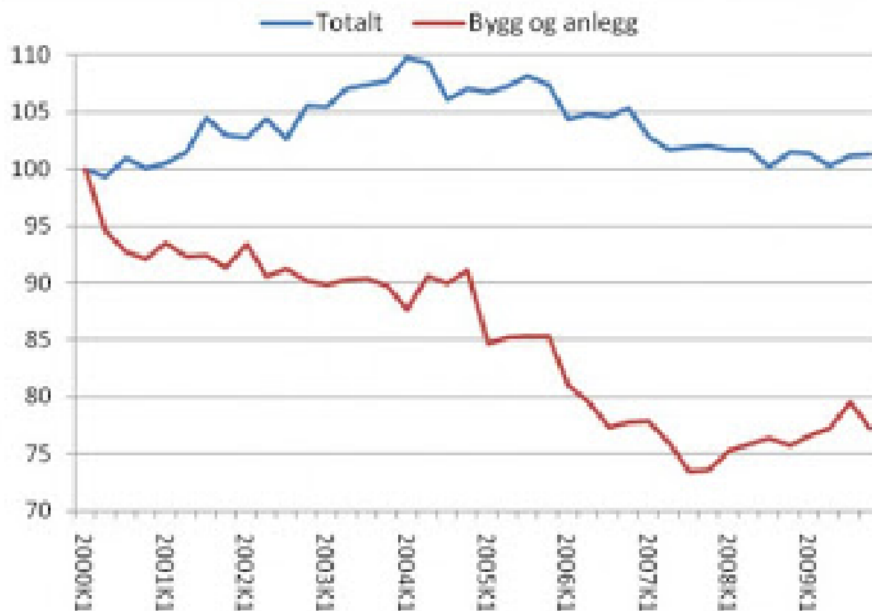
Robert Wigen (2007) snakker om gruppering av aktørene i forhold til kompetanse, funksjon og rolle. Dette gir en tredeling: byggherrefunksjon, planleggingsfunksjon og utførelsesfunksjon. I denne rapporten vil kandidaten bruke denne inndeling. Som det var nevnt tidligere, skal vi se på problemstillingen fra perspektivet til prosjekterende og utførende.

Man skiller mellom følgende typer entrepriser:

- Delte entrepriser
- Generalentreprise
- Totalentreprise
- Hovedentreprise

## 2.2 Produktivitetsutviklingen i byggenæringen

Produktivitetsmålinger står sentralt i diskusjonen omkring byggenæringens effektivitet, og det er en utbredt oppfatning av at produktiviteten i byggenæringen har vært avtagende de siste ti-femten årene (Langlo, 2013).



Figur 1 Produktivitet for Industri og Bygg og Anlegg (Smart bygging, 2015)

En viktig årsak til det er tilgangen på billig og ufaglært arbeidskraft. Men det som synes billig på kort sikt, ødelegger produktiviteten på lang sikt (Sandnes, 2015).

Så nevnes det korte tidsfrister som et annet grunn til fallende effektivitet i bygg- og anleggsbransjen.

«I egne prosjekter tar vi oss ikke nok tid til planlegging, og i prosjekter for andre får vi ikke nok tid. For både offentlige og private byggherrer forventes det at vi praktisk talt begynner å grave dagen etter at kontrakt er signert. Men vi trenger både tid og prosesser til å sette oss inn i oppgaven og legge strategier for å finne de beste løsningene» sier Johan Arnt Vatnan som har vært administrerende direktør i Helsebygg Midt-Norge i åtte år og nå jobber som konserndirektør i Skanska.

I tillegg er Vatnan også kritisk til måten byggherrene opptrer på. Han mener de kunne fått mer igjen for pengene enn i dag.

«Byggherrene må i større grad etterspørre kompetanse og kvalitet som en del av evalueringskriteriene. Siden jeg begynte i Skanska, har jeg sittet i mange møter om kontrakter der pris er det eneste kriteriet» (Vatnan, 2011).

For noen år siden slapp SINTEF Byggforsk sine tall som antydte at det ble produsert feil for i størrelsesorden 15 milliarder hvert år. Senere har forskningsinstituttet tatt forbehold knyttet til disse tallene (Seehusen, 2011).



«Tegningsløst» design kan være en vei ut av uføret med en stadig fallende produktivitet, men alle aktørene i verdikjeden må se mulighetene som ligger i denne metoden (bygherrer, rådgivende, entreprenører og leverandører) før man kan realisere effektivitetsgevinstene.

## 2.3 Bygningsinformasjonsmodellering (BIM)

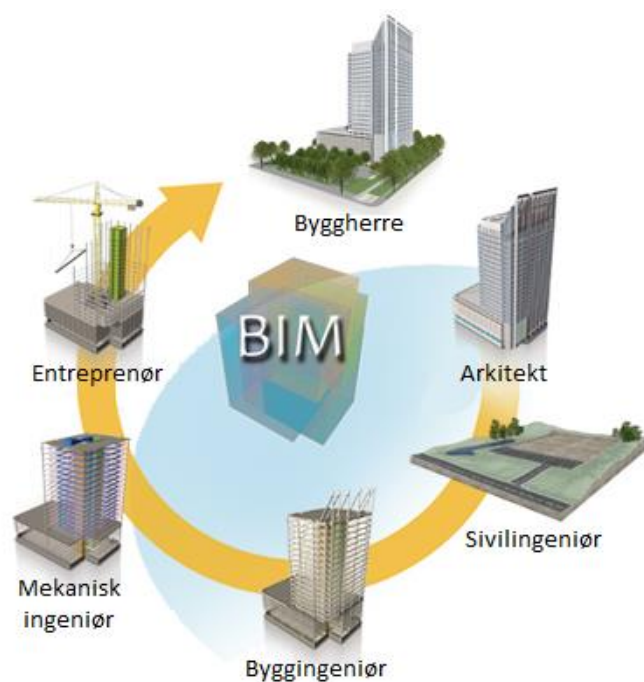
### 2.3.1 Hva er BIM

Byggenæringen er delt opp i mange fag. For å prosjektere, bygge og drifte et bygg skal mange ulike fag jobbe sammen på samme prosjektet. Ved konvensjonelle prosesser utveksles informasjon på papir. Det skaper mange misforståelser og feil, og er en hindring for godt samarbeid. I de fleste konvensjonelle prosjekter gjøres det kostbare feil på grunn av dårlig koordinering mellom fag. Dårlige kommunikasjon har ofte skyld i forstyrrelser ved fremdrift og budsjettoverskridelser.

Løsningen er at ved å samle og utveksle informasjon på et sted kan alle aktører samarbeide effektivt uten feil (BuildingSMART, 2014).

BIM er et tosidig konsept som kan tolkes både som «produkt», da står BIM for bygningsinformasjonsmodell, og «prosess», i dette tilfelle betyr BIM bygningsinformasjonsmodellering.

Bokstavene «I» og «M» er de mest viktige i forkortelse av BIM. Det er viktig å forstå at modell ikke bare er en 3D digital presentasjon av bygningsgeometri, men den kan



Figur 2 BIM-prosess (CooperIndustries, 2017)

berikes med mye data som legges inn i modellen av mange ulike aktører i alle steg av byggeprosessen.

I en bygningsinformasjonsmodell (BIM) er hvert bygningsobjekt representert med et tilsvarende digitalt objekt i modellen. For eksempel er et av objektene en dør. Døren velges fra et objektbibliotek i modellprogramvaren. Programvaren legger automatisk til informasjon om dørens plassering i bygget. Rådgiverne legger til informasjon og krav for døren, dimensjoner, materialer, farger og overflater, U-verdi osv.

### 2.3.2 Muligheter og gevinster

Mulighetene ved BIM er mange, og gevinsten kan være meget stor. Likevel kan det være vanskelig å vite hvor man skal starte for å lykkes, og tanken på å kaste seg ut i BIM-verdenen kan være skremmende hvis ikke man vet hvilke muligheter og gevinster man kan få ved dette. La oss nevne noen sentrale punkter som kan være en hjelp på veien:

- **Tverrfaglig kontroll mellom alle fag:**

Det sies at over 40% av alle byggefeilene kan spores tilbake til prosjekteringsfasen. Dårlig kommunikasjon og forståelse mellom rådgivere fører blant annet til at det velges løsninger som ikke lar seg bygge i virkeligheter. For liten plass over himling eller i tekniske sjakter oppdages ofte ikke før montørene står med drillen i hånden og prøver å finne en fornuftig plass til ventilasjonskanalen eller avløpet. Ved hjelp av BIM-modeller vil alle rådgivere konstant motta oppdaterte modeller fra andre prosjekterende, og BIM-programmer kjører automatiske kontroller som sjekker at det faktisk er mulig å bygge de løsningene som er prosjektert. På denne måte slipper man å komme på byggeplassen og oppdage at en bæresøyle kommer midt i et vindu, en ventilasjonskanal må gå igjennom et ståldrager, flere hull er plassert feil i pre-fab elementer, det mangler prosjektering av sprinkelplassering i et rom osv. Alle feil er oppdaget og korrigert i BIM-modellene før arbeidstegninger/modell sendes ut til byggeplass.

- **Mengdeuttak og kalkyle**

Markeringstusjer og reduksjons-stav har i årevis vært kalkulatørens beste venn. Det blir lagt ned masse arbeid for å måle manuelt på 2D-tegninger for å sikre et korrekt grunnlag til kalkulasjon og bestillinger av materialer / komponenter. Her vil man garantert effektivisere prosesser betraktelig ved hjelp av BIM-modellene. Noen få tastetrykk, og BIM-modellene vil tilby alt man måtte ønske av mengder og informasjon om materialer og type komponenter som er prosjektert. BIM-modellene lar seg også importere i kalkulasjonsprogrammer, hvor en kan kalkulere basert på alle mengdene en får fra modellene.

- **Beslutningsgrunnlag og kontroll for byggherre**

Som byggherre ønsker man å ha kontroll på at bygget tilfredsstillende de kravene som er satt. Videre vil byggherre sjekke at bygget blir utformet på en måte som vil fungere i drift praktisk. Visuelle 3D-modeller gir et mye bedre grunnlag for å ta viktige beslutninger tidlig i prosessen med tanke på byggets utforming og funksjon. Brukerne av bygget kan tidlig ta i bruk modeller for å kontrollere at dette vil være et godt bygg å ta i bruk. Valg av dårlige løsninger må avdekkes tidlig dersom man ikke ønsker økte byggekostnader mot slutten av prosjektet. Etter hvert som prosjekteringen skrider frem vil også byggherre sitte på de oppdaterte modellene og kan kontrollere at utførelsen

stemmer overens med den prosjekterte løsningen. Lavere byggekostnader, kortere byggetid og effektivisering av arbeidsprosesser vil være av interesse for byggherren.

- **Kvalitetssikret tegningsunderlag**

Erfaringer fra tradisjonell 2D-prosjektering viser at det ofte er avvik mellom fasade, plan og snitt-tegninger, og det kan også forekomme større avvik mellom tegningsunderlag som sendes ut fra forskjellige fag-rådgivere. Ved BIM-prosjektering blir modellene kilden for tegningsunderlag. Det vil si at om rådgiver flytter på en dør, eller en kanal, så blir dette oppdatert på alle tegninger og alle fag blir informert om at døren er flyttet. Slik reduserer man risiko for at entreprenører bygger etter tegninger som inneholder feil.

- **Tegningsunderlag og BIM-modell på byggeplass**

Kvalitetssikrede tegninger hjelper ikke stort hvis ikke entreprenør alltid har tilgang på siste revisjoner av tegningene eller modeller. Entreprenør kan få tilgang til LIVE-oppdaterede modeller og tegninger på byggeplass, enten via nettbrettapplikasjoner eller i BIM-stasjoner som settes opp på byggeplassen. En 3D-modell vil være til stor hjelp for å visualisere teknisk kompliserte løsninger, og dette sikrer også at entreprenør bygger i samsvar med den prosjekterte løsningen. Dette er viktig ettersom det er lagt ned tid og ressurser på å kvalitetssikre prosjektering.

- **Fremdriftsplanlegging og visualisering**

BIM-modeller kan benyttes for å planlegge fremdriftsplan i byggeprosjektet. BIM-modell og fremdriftsplan er koblet sammen slik at man kan visualisere fremdrift i 3D modell. Entreprenør kan få med seg BIM-modell ut på byggeplass og melde tilbake i modellen hvilke objekter som er bygget, påbegynt eller forsinket. Dette kobles automatisk tilbake til fremdriftsplanen og visualisering i modell slik at prosjektledere og byggherre enkelt kan følge fremdrift (BIMForum, 2015).

### 2.3.3 Åpen BIM

Det finnes en rekke programmer som kan benyttes for å skape BIM-modeller. Alle programvarer skal kunne kommunisere med hverandre ved hjelp av disse BIM-modellene. Man er derfor nødt til å ha et felles språk som alle disse programmene forstår, slik at denne kommunikasjonen blir mulig. Derfor ble det utviklet IFC-filformatet (Industry Foundation Classes). IFC er kjernen i ordet Åpen BIM, og muliggjør utveksling av modeller på tvers av programvare som benyttes. Åpen BIM betyr dermed at man ikke er låst til et spesifikt produkt eller program, ettersom alle programmer både kan importere og eksportere til filformatet IFC. For at et program offisielt skal bli godkjent for Åpen BIM, må det igjennom en sertifiseringsprosess hos Buildingsmart (BIMForum, 2015).

Bygningsinformasjonsmodeller utveksles mellom prosjektaktører i det åpne formatet. IFC formidler bygningsmodeller med geometri og annen informasjon ved hjelp av alle opplysninger om digitale objekter (deres egenskaper med klassifikasjoner). Informasjon er standardisert med BuildingSMART dataordbok. Det sikrer at alle programvarene forstår samme informasjon i bygningsmodellen. Alle prosjektaktører har tilgang til informasjon når de trenger den slik at de kan jobbe effektivt (BuildingSMART, 2014).

#### 2.3.4 Verktøy

Det finnes mye programvare som har støtte for å skape og behandle BIM-modeller. Hvilket program som passer i en konkret sammenheng, er avhengig av formålet, og alle programmer har sine sterke og svake sider.

Rådgivere har ofte sine favoritt-programmer i forhold til hvilke fagdisipliner som prosjekteres.

Tekla er for eksempel veldig bra for detaljprosjektering av stål og betong, Archicad er sterkt foretrukket av en rekke arkitekter, Civil 3D er et bra verktøy for prosjektering av infrastruktur, og Revit stiller sterkt innenfor prosjektering av en rekke fagdisipliner, som ARK, RIB, RIE og RIV. På lik linje som det finnes forskjellige programmer som kan skape BIM-modeller, finnes det også en rekke programmer som kan utnytte BIM-modellene til spesielle formål. Visualisering på iPad, kollisjonskontroller, lysberegninger, mengdeuttak, kalkyler, analyser og styring av fremdriftsplaner er kun noen eksempler på formål man kan utnytte modellene til, og her finnes det programvare som er spesialtilpasset til ett eller flere av disse formålene.

Støtte for det åpne BIM-formatet IFC er et krav til programvaren.

Denne oppgaven har ikke til formål å gi en grundig gjennomgang av alle BIM-verktøyene som finnes på markedet. Men for å kunne forstå og verifisere resultater og gå gjennom diskusjonsdelen, kreves det en felles kunnskap om muligheter som gis av ulike programvarer. Vi skal i dette kapitlet se på noen utvalgte BIM-programmer der vi gir en kort beskrivelse av funksjonaliteten.

**Revit** er et modelleringsverktøy som har funksjonalitet for arkitektur, produksjonsindustri, elektro- og VVS-prosjektering, konstruksjon, bygg og anlegg. Programvare er utviklet av den amerikanske leverandøren Autodesk. Revit er populært over hele verden, det er enkelt å få tak i objektbiblioteker for dette programmet og få support i tilfelle man trenger det. Det er også en fordel at flere fag kan modellere i det samme programmet og bruke original Revit-format hvis de skal linke en modell fra andre fag i sitt prosjekt.

Men Revit har en del begrensninger eller vanskeligheter når det gjelder «fri form» modellering. Derfor foretrekker mange arkitekter å bruke andre programmer, for eksempel Archicad, mens ingeniører benytter Revit.

**Solibri Model Checker (Solibri)** er et verktøy for sammenstilling av modeller fra flere disipliner gjennom det åpne formatet IFC. I Solibri kan man også analysere en eller flere IFC-modeller og sjekke disse i forhold til gitte regler og BIM-standarder. Solibri benyttes også ofte til en visuell kontroll av modellene og som diskusjonsgrunnlag i designfasen.

Modeller kontrolleres for å identifisere problemer eller eventuelt tiltak som må iverksettes for å fjerne avvik. Solibri og andre programmer for kontrollsjekk brukes for å finne slike avvik i modellen. Når de blir funnet, kan de lagres til et åpent filformat med visninger, utvalg av objekter som kolliderer med hverandre og kommentarer.

I 2009 introduserte Solibri sammen med Tekla en ide om å bruke et åpen standard som muliggjør arbeidsflytkommunikasjon mellom BIM-programvarene. Et XML-skjema kalt **BCF (Building Collaboration Format)** ble utviklet. Det brukes for å registrere avvik funnet i BIM modell og melde feilene til objekteiere som må rette dem opp. På den måte kan det skilles kommunikasjon fra modellen for å skape åpent samarbeid mellom partene i et byggeprosjekt.

**BCF** er et åpent filformat som lar en legge til tekstkommentarer, skjermbilder og mer på toppen av en IFC-modell. Selve IFC brukes ikke for dokumentasjon av avvik.

**Navisworks** fra Autodesk brukes også for sammenstilling av modeller. Navisworks er ikke så intuitiv og visuell som Solibri, men klarer å håndtere mange ulike filformater, og det er en stor fordel med en slik programvare.

## 2.4 Modellmodenhet

### 2.4.1 Utviklingsnivå av BIM-modell

BIM setter nye krav til prosjektering og samhandling i bygg- og anleggsprosjekter. En av forutsetningene for god samhandling er at partene forstår hverandres bidrag og leveranser og at en jobber mot et felles mål.

Mye av terminologien i bransjen er per i dag knyttet til arbeidsprosesser som baserer seg på tradisjonell prosjektering uten BIM. Eksempler på dette kan være «skisser», «arbeidstegning», «tverrfaglig kontroll» etc.

Når vi bruker BIM, utnytter vi objekter fra et bibliotek. Disse objektene kan være veldig detaljerte og dermed fremstå som mer «ferdige» enn de i realiteten er. Næringen trenger derfor et språk / en benevnelse som beskriver ferdighetsgraden av det vi har i prosjekt på en entydig og klar måte.

Utviklingsnivå, dvs. «the Level of Development (LOD)», skal beskrive hvor ferdigstilt et objekt er. Det er viktig å ha denne opplysningen både med tanke på geometri og informasjon.

LOD er en referanse som gjør det mulig for alle i byggebransjen å spesifisere og kartlegge innhold og pålitelighetsgrad i Bygningsinformasjonsmodell i ulike steg av byggeprosessen. LOD-spesifikasjon benytter grunnleggende LOD-definisjoner utviklet av AIA (the American Institute of Architects) for AIAs nyeste BIM-protokoll, G202-2013 Building Information Modeling Protocol Form og organisert av CSI Uniformat 2010. Den definerer og illustrerer egenskaper av modellelementer av forskjellige bygningssystemer på forskjellige utviklingsnivåer. LOD-spesifikasjonen forklarer hva modellen kan brukes til og hvilke begrensninger som ligger i den. Hensikt med denne spesifikasjonen er å bidra til å standardisere bruk av BIM-modeller slik at de blir mer nyttige som kommunikasjonsverktøy. Den kartlegger ikke bare tidspunkt for de ulike utviklingsnivåene i prosjektet, men hjelper dessuten prosjekterende å selv bestemme forløpet i bygge stegene.

Primære mål som LOD-spesifikasjon har, er som følger:

- Hjelp alle partene i byggeprosessen, inkludert byggherre, å spesifisere BIM-leveranser og få en klar forståelse av hva som skal inkluderes i BIM-leveranse
- Hjelp BIM-ansvarlig å forklare til prosjekteringsgruppen informasjon og detaljer som må leveres på ulike tidspunkter i prosjektet
- Etablere en standard som man kan henvise til ved utarbeidelse av kontrakter og BIM-dokumentasjon for prosjekter.

Det bør bemerkes at LOD-spesifikasjon ikke erstatter andre krav i prosjektet, men er ment til å brukes sammen med andre krav, og skal være et verktøy for å forberede modell til informasjonsutveksling, sette opp milepæler i framdriftsplan for prosjektet og leveranser for ulike formål.

Siste versjon av LOD-spesifikasjon som var utviklet i 2016, har fokus på elementgeometri i BIM-modell med de tre mest vanlige bruksområdene: mengdeuttak, 3D-koordinering og 3D-kontroll og planlegging. Arbeidsgruppen som jobbet med utvikling av LOD-spesifikasjonen, påstår at med denne tilnærmingen vil spesifikasjonen også være tilstrekkelig for å dekke andre behov (BIMForum, 2016).

#### 2.4.2 Grunnleggende LOD-definisjoner

Grunnleggende LOD-definisjoner inkludert i LOD-Spesifikasjon er utviklet av AIA. LOD 100, 200, 300, 400 og 500 brukes i den nyeste BIM-protokollen utstedt av AIA i 2013. LOD 350 er begrep utviklet av BIMForum. (BIMForum, 2016)

##### LOD 100

Et modellelement kan være grafisk representert i modellen med et symbol eller en annen generisk representasjon, men tilfredsstillende ikke krav til LOD 200. Informasjon relatert til modellelementet (for eksempel kostand per kvadratmeter) kan utledes fra andre modellelementer.

BIMForum fortolkning: LOD 100 elementer har ikke geometrisk representasjon. For eksempel, er data tilknyttet til andre modellelementer eller symboler som viser at elementer finnes i modell, men definerer ikke eksakt formen, størrelse eller nøyaktig posisjon. Alle data koblet til elementer må betraktes som veiledende og upresis.

##### LOD 200

Et modellelement er grafisk representert i modellen som et generisk system, objekt eller gruppe med omtrentlige mengder, størrelse, form, plassering og orientering. Ikke-grafisk informasjon kan også knyttes til elementet.

BIMForum fortolkning: På dette nivå er elementer generiske plassholdere. De kan gjenkjennes som komponentene de representerer eller de kan modelleres som veiledende og upresis.

##### LOD 300

Et modellelement er grafisk representert i modellen som et spesifikk system, objekt eller gruppe med tanke på mengder, størrelse, form, plassering og orientering. Ikke-grafisk informasjon kan også knyttes til elementet.

BIMForum fortolkning: Mengder, størrelse, form, plassering og orientering av elementet kan måles direkte fra modellen uten å referere til ikke-modellert informasjon. Prosjektets origo er definert og elementet er plassert riktig i forhold til prosjektets origo.

## LOD 350

Et modellelement er grafisk representert i modellen som et spesifikk system, objekt eller gruppe med tanke på mengder, størrelse, form, plassering, orientering og grensesnitt mot de andre bygningselementer. Ikke-grafisk informasjon kan også være knyttet til objektet.

BIMForum fortolkning: Deler av elementer som er nødvendig for koordinering mot andre elementer, er modellert. Mengder, størrelse, form, plassering og orientering kan måles rett fra modellen uten henvisning til informasjon som ikke kommer fra modellen.

## LOD 400

Et modellelement er grafisk representert i modellen som et spesifikk system, objekt eller gruppe med tanke på størrelse, form, plassering og orientering med detaljer, produsent- og installasjonsdata. Ikke-grafisk informasjon kan også kobles til modellelementet.

BIMForum fortolkning: Et element på LOD 400 nivå er modellert med tilstrekkelig detaljeringsgrad og nøyaktighet for produksjon av dette elementet. Mengder, størrelse, form, plassering og orientering kan måles rett fra modellen uten henvisning til informasjon som ikke kommer fra modellen.

## LOD 500

Et modellelement er en feltverifisert representasjon når det gjelder størrelse, form, plassering, kvantitet og orientering. Ikke-grafisk informasjon kan også knyttes til elementet.

BIMForum fortolkning: Siden LOD 500 refererer til feltverifisering og ikke indikerer progresjon til en høyere modellnivå eller ikke-grafisk informasjon, omfatter spesifisering ikke den.

### 2.4.3 Level of Development vs. Level of Detail

Av og til tolkes LOD som detaljnivå i stedet for utviklingsnivå. Det er en viktig forskjell mellom de to. Detaljnivå beskriver i hovedsak hvor mye detaljer som er inkludert i et modellelement. Utviklingsnivå omfatter både elementgeometri og informasjon tilknyttet til elementet, den viser i hvilken grad prosjektmedlemmer kan stole på informasjon når de bruker modellen. Det vil si at detaljnivå kan anses som input til et element mens utviklingsnivå er pålitelig utgang (BIMForum, 2016).



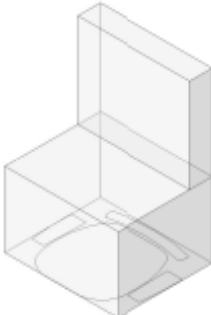


LOD som Utviklingsnivå er et mål av pålitelighetsgrad av informasjon representert av et BIM-objekt. Det er ikke nødvendigvis et mål på mengde av informasjon selv om det må være nok data for å tilfredsstillere LOD-nivås krav. Det måler heller hvor detaljert eller presis grafisk informasjon er. Utseendet av et BIM-element er bare en type data om dette objektet, og som oftest er det av mindre viktighet. En entreprenør trenger ikke



å vite hvordan et skrivebord ser ut for å bestille det, heller ikke for å plassere det i bygningen. Men de må vite hvem produsent er, og hva modellnummeret er. For å plassere trenger man kanskje å vite størrelsen av objektet for å plassere det ut og koordinere mot andre objekter (McPhee, 2013).

Formålet med LOD-tabellen er at den forteller hvilke opplysninger som kan brukes. For å si det på en annen måte, viser LOD hvor mye man kan stole på informasjon som ligger på objekter. Så selv om en stol på LOD 100 i modellen inneholder informasjon som vil tilfredsstille LOD 400, kan bare den biten av informasjon som tilsvarer LOD 100 påberopes med en viss sikkerhet. Det betyr at en stol familie fra en produsent kan brukes på LOD 100, men alle vet (ved å referere til LOD-tabellen) at denne stolen ikke nødvendigvis er den som faktisk blir brukt.

## LEVEL of DEVELOPMENT

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
				
Concept (Presentation)	Design Development	Documentation	Construction	Facilities Management
<u>DESCRIPTION:</u> <b>Office Chair</b> Arms, Wheels <u>WIDTH:</u> 100 <u>DEPTH:</u> 100 <u>HEIGHT:</u> 100 <u>MANUFACTURER:</u> Herman Miller, Inc. <u>MODEL:</u> Mirra <u>LOD:</u> <b>100</b>	<u>DESCRIPTION:</u> <b>Office Chair</b> Arms, Wheels <u>WIDTH:</u> <b>700</b> <u>DEPTH:</u> <b>450</b> <u>HEIGHT:</u> <b>1100</b> <u>MANUFACTURER:</u> Herman Miller, Inc. <u>MODEL:</u> Mirra <u>LOD:</u> <b>200</b>	<u>DESCRIPTION:</u> <b>Office Chair</b> <b>Arms, Wheels</b> <u>WIDTH:</u> <b>700</b> <u>DEPTH:</u> <b>450</b> <u>HEIGHT:</u> <b>1100</b> <u>MANUFACTURER:</u> Herman Miller, Inc. <u>MODEL:</u> Mirra <u>LOD:</u> <b>300</b>	<u>DESCRIPTION:</u> <b>Office Chair</b> <b>Arms, Wheels</b> <u>WIDTH:</u> <b>685</b> <u>DEPTH:</u> <b>430</b> <u>HEIGHT:</u> <b>1085</b> <u>MANUFACTURER:</u> <b>Herman Miller, Inc</b> <u>MODEL:</u> <b>Mirra</b> <u>LOD:</u> <b>400</b>	<u>DESCRIPTION:</u> <b>Office Chair</b> <b>Arms, Wheels</b> <u>WIDTH:</u> <b>685</b> <u>DEPTH:</u> <b>430</b> <u>HEIGHT:</u> <b>1085</b> <u>MANUFACTURER:</u> <b>Herman Miller, Inc</b> <u>MODEL:</u> <b>Mirra</b> <u>PURCHASE DATE:</u> <b>01/02/2013</b>
(Only data in red is useable)				

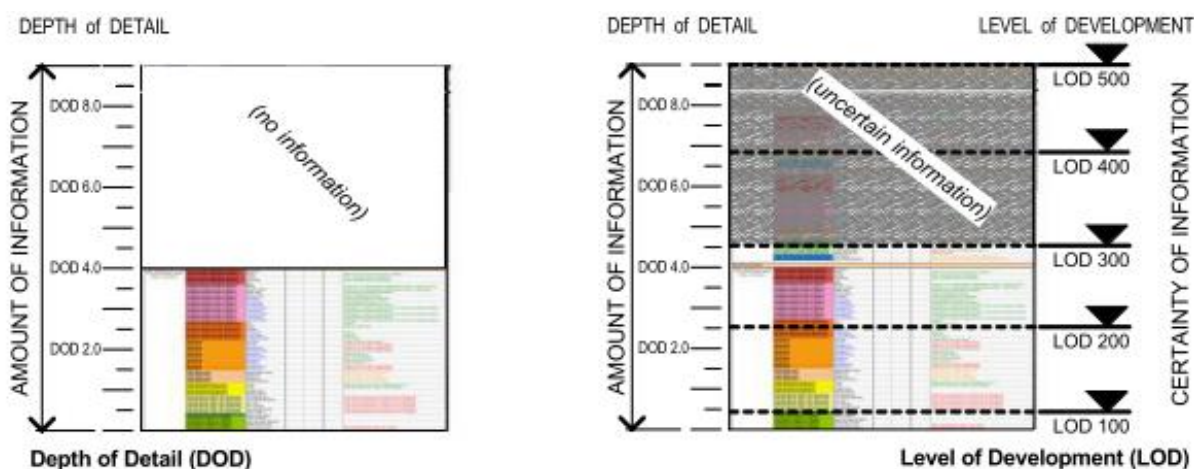
practicalBIM.net © 2013

Figur 3 Utviklingsnivå av et BIM-objekt (McPhee, 2013)

På grunn av forvirringen mellom de to begrepene, bruker de fleste BIM-dokumenter et annet begrep for å spesifisere detaljnivå.

For å unngå misforståelser burde det alltid brukes akronymet LOD for Level of Development og en annen forkortelse for Level of Detail. For eksempel kan man bruke forkortelse DOD som står for Depth of Detail (Practical BIM, 2013).

Neste figur presenterer to diagrammer. Diagram til venstre viser hva som skjer hvis man bruker bare Depth of Detail, og den andre til høyre viser bruk av Level of Development (som per definisjon inkluderer DOD).



Figur 4 DOD vs LOD (McPhee, 2013)

#### 2.4.4 Objektstatus i BIM-modell

Konsept av LOD hadde vært fornuftig om den kunne implementeres i BIM-modell (for eksempel ved å etablere et parameter for LOD). Da kunne program for prissetning hente LOD data direkte fra modellen. Men siden denne informasjonen ligger i et eget dokument, er det tungvint å benytte disse opplysningene. Det virker upraktisk å beholde LOD-krav på et sted som er adskilt fra det faktiske arbeidsområdet hvor man legger inn informasjon i en modell.

Skal ikke denne tabellen være en del av modellen og tilgjengelig for alle som jobber med modellen og bruker den? Da hadde LOD vært i modellen og kunne trekkes ut som en tabell.

BuildingSMART Norge lanserte en tabell med prosessstatuskoder, egenskap som beskriver objektets grad av etablering i en gitt prosess. Status beskriver hele objektet, det vil si både geometri, plassering, materialvalg og egenskaper knyttet til objektet.

Statusen er ikke knyttet til hvor detaljert geometrien til objektet er, og må derfor ikke forveksles med detaljnivå (Level of Detail).

Fargekoding av prosessstatus (etablert, godkjent, levert, bygget, rives etc.) brukes for å kunne skille objekter visuelt fra hverandre i modellen. Koblingen mellom farge og egenskap etableres i viewer verktøyet som brukes til visualiseringen (BuildingSMART Norge, 2017).

Tabell 1 viser et forslag fra BuildingSMART for prosessstatus med fargekoding.

Tabell 1 PROSESSTATUS IFT. BUILDINGSMART NORGE

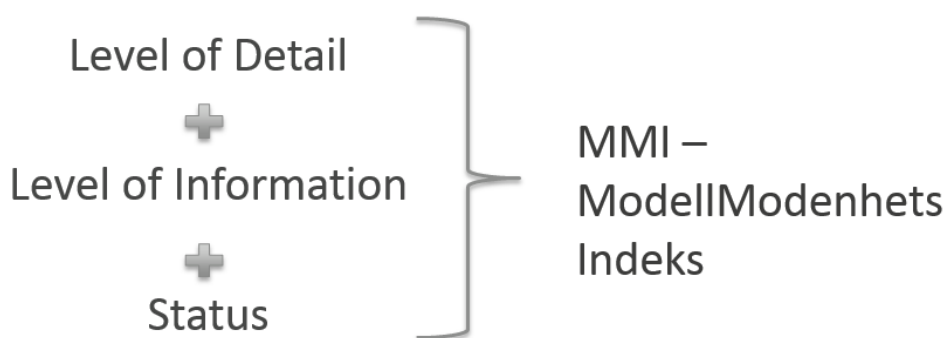
Status Process Code	Prosesstatusnavn - Norwegian	Process Status Name - English	Color	RGB Color Code
<b>PS0</b>	<b>Generelt</b>	<b>General</b>		
PS01	Fryst = Endring ikke tillatt	Frozen = Change not allowed		255, 0, 0
PS02	Hold = Beslutning avventer informasjon	Hold = Decision awaits information		255, 235, 7
<b>PS1</b>	<b>Prosjektering</b>	<b>Design</b>		
PS11	Etablert	Established		255, 125, 125
PS12	Klart for Disiplinkontroll	Ready for Domain QA		81, 251, 255
PS13	Godkjent Disiplinkontroll	Approved Domain QA		255, 193, 54
PS14	Klart for Tverrfaglig Kontroll	Ready for Multi-domain QA		238, 95, 187
PS15	Godkjent Tverrfaglig Kontroll	Approved Multi-domain QA		0, 226, 0
PS16	Klart for Tredjepartskontroll	Ready for Third-party QA		104, 138, 254
PS17	Godkjent Tredjepartskontroll	Approved Third-party QA		188, 188, 188
PS18	Klart for Byggherrekontroll	Ready for Client QA		253, 237, 99
PS19	Godkjent av Byggherre	Approved Client QA		91, 255, 99
<b>PS3</b>	<b>Bygging</b>	<b>Construction</b>		
PS31	Kontrahert	Object procured		91, 255, 99
PS32	Assembly Level Acceptance Test	Assembly Level Acceptance Test		255, 239, 111
PS33	Factory Acceptance Test	Factory Acceptance Test		253, 143, 227
PS34	Bygget/ferdigmontert	Constructed/Assembled		128, 167, 254
PS35	Site Acceptance Test	Site Acceptance Test		255, 119, 116
PS36	Godkjent integrerte systemtester (tjenestetester)	Approved Integrated System Test		255, 164, 85
PS37	Godkjent overtakelse	Approved Handover		156, 255, 249
<b>PS5</b>	<b>Driftsfase</b>	<b>Operation</b>		
PS51	Utskiftes/erstattes	To be replaced		33, 255, 26
PS52	Rives/fjernes	To be demolished/removed		12, 79, 255
PS53	Avhendt	Disposed		30, 254, 255

I Multiconsult ble det utviklet et eget system for objektstatus i modellen. Det inneholder færre stater enn tabellen fra BuildingSMART og møter bedre prosjektsbehovene i bedriften.

- Formål med objektstatus er som følger (Ganz, 2016):
- Holde rede på hva som er gjeldende prosjekteringsunderlag (mellom fagene i prosjekteringsgruppa)
  - Dersom underlaget har status PS11, bør man forvente endringer -> Vær varsom med tidsbruken.
  - PS12 -> OK som prosjekteringsunderlag
- Vite hvor langt hvert enkelt fag har kommet i prosjekteringen.
  - Når er det klart for tverrfaglig kontroll i hvilke områder?
  - Tilpasse regelsjekker i Solibri.
  - Hvordan ligger vi an i forhold til tidsplanen?
- Vite hva som er kontrollert og sjekket innad i eget fag.
  - Rett og slett et hjelpemiddel for Disiplinleder til å styre ressurser og prosesser.
- Tydeliggjøre hvilket underlag utførende (entreprenør) kan forholde seg til.
  - Kun etter godkjenning er objekter klart for bygging. Alt annet er kun informativt.

### 2.4.5 MMI - Modellmodenhetsindeks

Foreløpig er det bare status som er implementert i BIM-modellen i Multiconsult. Man tar ikke hensyn til LOD i modellen. Grunnen til det kan være at status er enklere å definere og tallfeste mens begrepet «utviklingsnivå» er mindre presist, og det kan være en utfordring å bestemme hvilket nivå som et objekt ligger på. Derfor er ikke konseptet brukt så mye og skaper forvirringer for dem som har forsøkt å implementere det i prosjekter. Men det blir det stadig mer aktuelt å kunne definere hvor mye modellen har utviklet seg. Unntatt status må man kunne kommunisere eierskap og ferdighetsgrad i modellen. Derfor jobbes det videre med utvikling av konseptet. Som et virkemiddel mot misforståelser og diskusjoner om LOD betyr Level Of Development eller Level Of Detail, innføres derfor begrepet MMI (Fløisbonn, 2017). Den kan uttrykkes som følgende:



*Figur 5 Definisjon av Modellmodenhetsindeks*

MMI – Model Maturity Index (eng.) eller Modellmodenhetsindeks på norsk er en benevnelse på modningsgrad av et objekt i en BIM modell. MMI skal beskrive hvor modent objektet er, både med tanke på geometri og informasjon.

MMI er først og fremst et kommunikasjonsverktøy. Ved å planlegge når objekter i hele eller deler av bygget skal ha en gitt verdi av MMI, kan man gjennomføre prosjekteringen på en måte som er mer i tråd med de verktøy vi har tilgjengelig i dag.

Beslutning om bruk av MMI-merking objektnivå i modeller vil overlates til de enkelte prosjektene i Multiconsult. Se Vedlegg 4 for tabell med MMI-verdier.

### 2.5 Kontroll og kvalitetssikring av prosjekteringsunderlag

En av Skandinavias største uavhengige forskningsorganisasjoner (Sintef) har utgitt mange forskrifter som beskriver hvordan man kan planlegge og utføre et bygg, samt hvordan man kan dokumentere byggeprosessen og kontrollere tegninger utarbeidet ved prosjekteringen. I tillegg til det er det flere andre standarder og instruksjoner en kan følge; veiledning fra PBE (Plan og bygningsetaten), standarder fra Forening av

rådgivende ingeniører (RIF), tekniske bøker, sertifikater og krav fra leverandører. Det kan være forvirrende hvis man prøver å følge råd fra ulike dokumenter. På grunn av det kan det oppstå feil og misforståelser. Derfor tas det spesielt hensyn til alt som kan skape forvirringer og føre til feil. (Smith, 2017).

Vanligvis utvikles en kvalitetsplan tidlig i planleggingsfasen, men ofte er den altfor generell. Den bør leveres sammen med sjekklister for å opprettholde et riktig detaljeringsnivå. Selve sjekklisene mangler ofte viktige opplysninger om bygningskomponentene (Ulfsnes and Danielsen, 2004).

Feil i byggeprosessen kan oppstå i forskjellige faser av prosjekter. En årsak til disse feilene er manglende kvalifikasjoner og kunnskaper, og i mange tilfeller kunne man unngått feil om man fulgte arbeidsinstruksjoner og rutiner utarbeidet for kontroll. Et spørsmål er om kontrolldokumentasjon er kjent og lest av alle som involveres i prosjektet (Smith, 2017).

### 2.5.1 Kontrolltyper

Nedenfor er listet de viktigste definisjonene innen kontroll i oppdrag.

Tabell 2 TYPER AV KONTROLL I OPPDRAG

Egenkontroll	Kontroll av eget arbeid, for å sikre at relevante og avtalte krav til produktet er oppfylt. Utføres av den som produserer, basert på en faglig, oppdragstilpasset/standard sjekklister. Utført kontroll dokumenteres.
Sidemanns-kontroll	Kontroll av en annen persons arbeid, for å sikre at relevante og avtalte krav til produktet er oppfylt. Kan også omfatte kontroll av parametervalg og viktige delprodukter som har stor betydning for videreføring av oppdraget. Utføres av en kvalifisert person, utpekt av oppdragsleder og/eller disiplinleder, basert på samme sjekklister som for egenkontroll. Utført kontroll dokumenteres.
Godkjenning	Sluttkontroll for å bekrefte at alle planlagte kontroller er utført og at sporbar, signert, datert kontrolldokumentasjon er arkivert, og godkjenne og frigi produktet for levering. Utføres ved stikkprøver av sluttprodukt og kontrolldokumentasjon før leveranse. Utføres av oppdragsleder, objektledere eller disiplinledere. Dokumenteres.

### 2.5.2 Generelle prinsipper for kontroll i oppdrag

Egenkontroll, sidemannskontroll og godkjenning er obligatorisk for alle leveranser i Multiconsult. Egenkontroll og sidemannskontroll skal utføres iht. relevante faglige eller generelle sjekklister.

### 2.5.3 Bruk av sjekklister ved kontroll

Sjekklister skal brukes for å sikre at alle relevante krav er oppfylt i leveransene, og for å dokumentere omfanget av kontrollen. Kompetansenettverkene i Multiconsult vedlikeholder faglige sjekklister. Oppdragsleder skal vurdere om tilgjengelige standard sjekklister kan brukes i et oppdrag, om de må tilpasses, eller om nye sjekklister må lages.

Sjekklistene skal inneholde spørsmål om relevante krav/produktetegenskaper som skal tilfredsstilles ved leveransene, for å sikre riktig kvalitet.

### 2.5.4 Kontroll mot eksterne dokumenter

Dette er kontroll mot eksterne dokumenter som er grunnlag for dokumenter Multiconsult skal utarbeide. Slike dokumenter kan utarbeides av:

- Siderådgivere
- Entreprenører
- Andre aktører i prosjektet som oppdraget er del av.

Kontroll mot eksterne dokumenter utføres av den som utarbeider dokument(er) med avhengighet til eksterne dokumenter, og er da en del av både egenkontrollen, og deretter en del av sidemannskontrollen.

### 2.5.5 Kontroll av dokumenter fra underleverandører

Produkter fra Multiconsults underleverandør(er) skal underlegges tilsvarende kontroll som Multiconsults kontroll. Underleverandørens kontroll skal beskrives i avtalen med Multiconsult.

Multiconsult skal kunne delta i underleverandørens kontroll. Sluttkontrollen hos underleverandør skal skje hos denne før dokumenter oversendes Multiconsult for utsendelse til kunden.

### 2.5.6 Kontroll etter Plan- og bygningsloven (PBL) – Uavhengig kontroll

Når et oppdrag er ansvarlig prosjekterende iht. til PBL, skal det gjennomføres uavhengig kontroll i tillegg til Multiconsults eget system for kontroll som inkluderer egenkontroll, sidemannskontroll og godkjenning.

Fra 01.07.11 ble det stilt obligatorisk krav om (uavhengig) kontroll innenfor bestemte, avgrensede områder som defineres i Byggesaksforskriften SAK10 § 14-2.

Kontrollerende foretak skal være en annen juridisk enhet enn det foretaket som utfører arbeid som skal kontrolleres.

### 2.5.7 Dokumentasjon og arkivering

Utført kontroll av tegninger skal dokumenteres fysisk/elektronisk på sjekkopi av tegning med kommentarer, type kontroll, signatur, disiplin og dato, for å sikre sporbarhet.

I tillegg skal utført kontroll dokumenteres fysisk/elektronisk i relevant sjekklister, som signeres og dateres

### 2.5.8 Kontroll og kvalitetssikring ved modellbasert prosjektering

Kontroll og kvalitetssikring av prosjekteringsunderlag er et sentralt tema i hvert oppdrag, og blir enda viktigere ved overgang til modellbasert prosjektering. I konvensjonelle prosjekter kan man støtte 3D geometri i BIM-modell med 2D informasjon som legges inn på tegninger. Når det ikke finnes noen tegninger, må modellen som brukes som et arbeidsunderlag bli tillagt et høyere krav til innholdet. Det er viktig fordi man må kunne stole på at opplysningene som er i modellen, er korrekte når modellen sendes ut til byggeplass.

Det finnes Norsk og ISO-Standard som beskriver hvordan arbeidstegninger og bøyelister skal se ut, men når man kommer til et tegningsløst prosjekt, finnes det ikke noen standarder.

Dette utfordrer prosjekterende på den måten at de selv må finne ut hvilken informasjon som skal medtas slik at behovene til entreprenørene blir ivaretatt på den beste måten. Utvikling av et standard ville kunne bidra til avklaring av grensesnitt (Ganz, 2017).

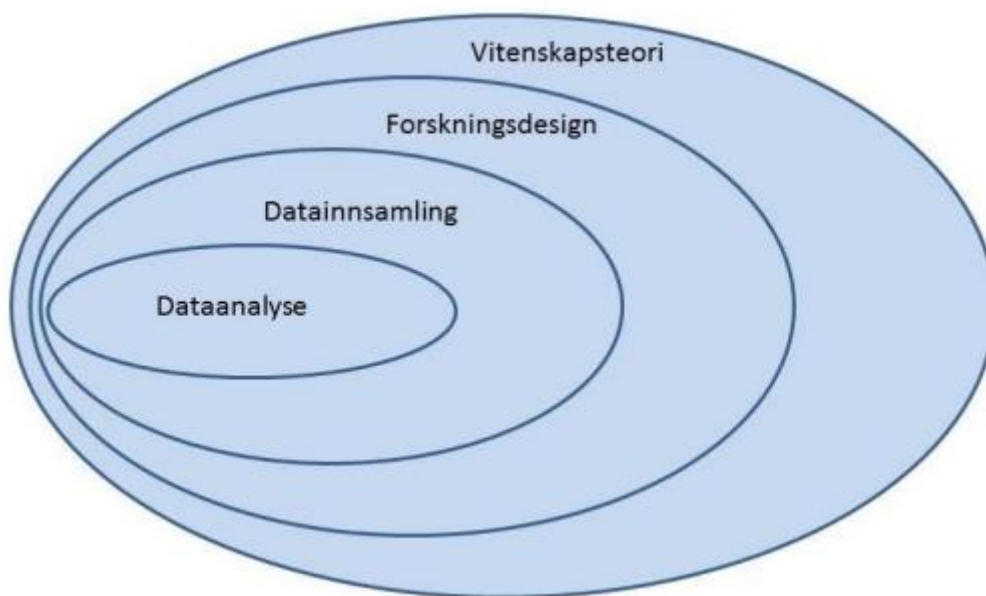
Senere i oppgaven vil det vises hvordan kontrollrutiner må bearbeides og tilpasses en ny virkelighet uten tegninger, og hvordan modell kan brukes som et arbeidsunderlag.

### 3 Metode/forsøksplaner

Denne delen tar for seg valg og bruk av vitenskapelig metode. Det skal vises hvordan forfatteren kommer frem til kunnskap som er nødvendig for å svare på problemstillingen. Først beskrives det et forskningsdesign og metode med begrunnelse av valg, så vises det hvordan data vil samles inn, og mulige feilkilder som kan ha påvirkning på resultatene identifiseres.

For å definere en vitenskapelig metode må forsker foreta en rekke valg angående vitenskapsteoretisk utgangspunkt, forskningsdesign, metoder for datainnsamling og metode for analyse av innhentet empiri. Disse valgene henger i stor grad sammen og et valg påvirker det neste (Busch 2013).

Saunders et al. (2015) illustrerer hvordan valgene henger sammen og bygger på hverandre. Sammenheng mellom forskjellige nivåer for valg er vist på figur 6. Saunders kaller denne figuren for en forskningsløk. Man tar utgangspunkt i overordnet nivå i forhold til vitenskapsteoretiske ståsted og jobber seg innover i løken. Valg av vitenskapsteori har påvirkning på alle valgene nedover fram til metode for dataanalyse.



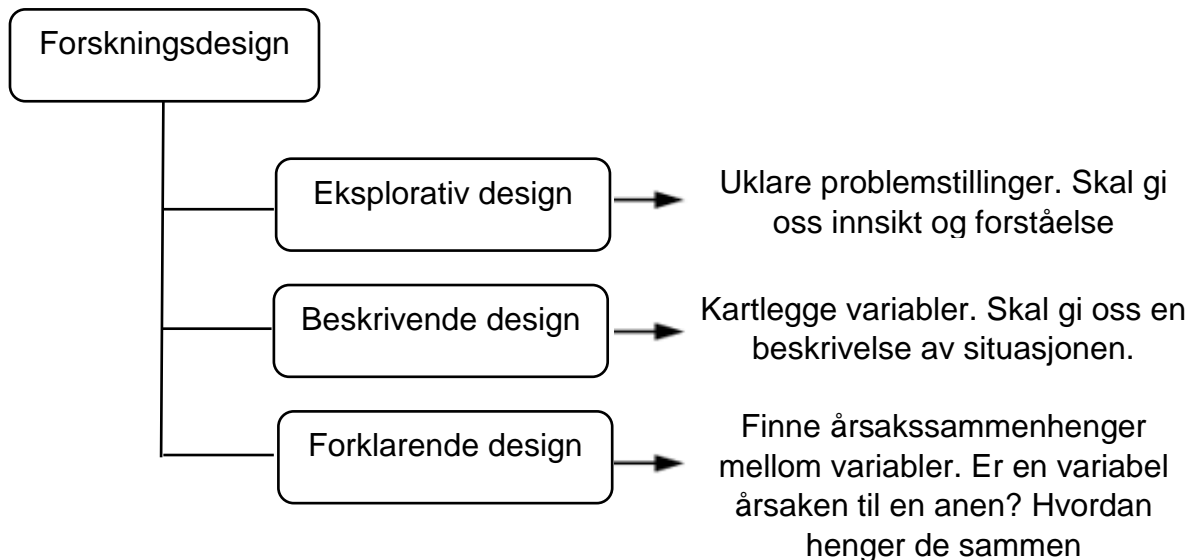
Figur 6 Forskningsløken - Ulike nivå for valg av forskningsmetode (Saunders et al. 2015)

#### 3.1 Vitenskapsteori og forskningsdesign

Når vi har kommet frem til en god og presis problemdefinisjon, er neste oppgave å lage et forskningsdesign. Dette stadiet kalles også for prosjektutformingsstadiet, og går ut på å lage: en overordnet plan for en forskning som forteller hvordan problemstillingen skal belyses og besvares (Kunnskapssenteret, 2016). Forskningsdesignet skal kartlegge hva forskningens formål er, hvilket data-/informasjonsbehov som finnes, velge metode for innhenting av data og hvor dette skal utføres.



Ringdal understreker at valget av en bestemt forskningsdesignstype begrunner formålet med undersøkelse. Hun skiller mellom eksplorativ, beskrivende og forklarende forskningsdesign. Eksplorativ design brukes i tilfeller der det er lite forkunnskap om problemet, og det finnes ingen klar hypotese om utfallet. Beskrivende design forsøker å forklare sammenheng mellom ulike variabler, mens forklarende design prøver å gi svar på om det er forbindelse eller ikke (Ringdal, 2001).



Figur 7 Forskningsdesign. Typer og bruksområder (Sander, 2016)

«Tegningsløs byggeplass» med modellbasert bygging er et relativt nytt konsept som er lite utprøvd i internasjonale og norske prosjekter. Verken bransjen eller forfatteren har mye kunnskap om tematikken. Siden problemstillingen heller ikke stiller noen klar hypotese, anses eksplorativ type av forskningsdesign som den mest hensiktsmessige typen for undersøkelsen. Ifølge Grenness (2001) kan eksplorative undersøkelser egne seg som forstudier til deskriptive undersøkelser med klare problemstillinger og hypoteser, men også for undersøkelser som skal stå på egne bein. Med en eksplorerende design kan forskningsspørsmålene utvikles etter hvert som kunnskap blir tilegnet. Videre er det viktig å avklare hvilken vitenskapelig tilnærming og metode som blir mest hensiktsmessig å bruke, samt hvordan innhenting av data skal utføres (Kvale, 2009).

### 3.1.1 Vitenskapelig tilnærming

Vitenskapelig tilnærming er måten problemstillingen angripes og besvares. En skiller mellom deduktiv og induktiv forskningstilnærming. Induktiv tilnærming foretar beslutninger basert på observasjoner gjort under empiriske undersøkelser. Observasjoner samles og oppsummeres til generelle teorier. I motsetning til induktiv tilnærming er deduktiv tilnærming en metode der forskningsspørsmålene avledes fra teorier og tidligere forskning for så å undersøkes empirisk. Forskningsspørsmålene er

ofte i form av hypoteser som testes i empiriske undersøkelser. Man tester hypoteser utledet fra teori gjennom empiriske undersøkelser for å finne ut om de kan bekreftes eller forkastes (Sødal, 2014).

I denne oppgaven vil det brukes elementer fra begge tilnærminger. Deduktiv tilnærming vil benyttes gjennom å hente elementer fra teorien, for å teste teoretisk kunnskap under intervjuene med nøkkelpersoner fra case-prosjekter. Dermed vil den teoretiske biten øke forståelse rundt problemstillingen og danne en liste av spørsmål som fortsatt trenges å bli besvart. Dette vil danne et godt utgangspunkt for intervjuguidene. I observasjoner og intervjuer vil det samles data som et grunnlag for formulering av nye forskningsspørsmål som må tas videre i arbeid. Det vil si at kunnskap fra intervjuene vil fremkomme induktivt når forskeren henter empiri fra virkeligheten.

### 3.1.2 Vitenskapelig metode

Et fundamentalt valg som må foretas når forskeren har bestemt seg for å samle inn egne data er valget av undersøkelsesmetode (Halvorsen, 2008). Når dette valget skal gjennomføres er det viktig at forskeren har en oversikt over hva slags type data som skal samles inn. Teorien tegner et hovedskille mellom kvantitative og kvalitative data. Hvilken metode som er best, avhenger av temaet som skal undersøkes (Ghauri & Grønhaug, 2010).

Den kvalitative informasjonen er viktig for å etablere forståelse og dybde om et tema (Samset, 2015). Denne informasjonen er raskere å generere, men har dårligere etterprøvbarehet enn kvantitativ informasjon. En bør forsøke å kvantifisere kvalitativ informasjon så langt det lar seg gjøre ved å benytte skalaer eller ulik form for vektning.

Kvantitativ metode er en logisk og kritisk tilnærming, hvor man gjennom testing og verifikasjon skaffer data til en kontrollert måling av resultater (Ghauri & Grønhaug, 2010).

Det er fullt mulig å kombinere de to metodene, og utnytte at kvalitative vurderinger hjelper med å beskrive helheten, mens kvantitativ metode gir beskrivelsen presisjon (Samset, 2015).

I denne oppgaven ble det valgt kvalitativ metode da dette egnet seg best med hensyn til problemstillingene. Valget av en ren kvalitativ metode kommer av at forskningsdesignet er eksplorativt, og forfatterens kunnskaper om temaet er begrenset, noe som gjør at fleksibilitet anses som en fordel. Egenskapene til kvalitativ metode passet meget bra til denne oppgaven siden vi ønsker å fange opp mening og opplevelse som ikke lar seg tallfeste. Det var heller ingen faste svaralternativ. Det var ønskelig å få mye informasjon fra få undersøkelsesenheter og observere erfaringen fra faktiske prosjekter. Tallbasert informasjon var ikke egnet for å besvare problemstillingen og kvantitativ metode ble derfor valgt bort.

### 3.2 Valg av metode for datainnsamling

Det var bestemt å utarbeide en eksplorerende forskningsdesign med elementer fra både deduktiv og induktiv tilnærminger til undersøkelser og benytte kvalitative metoder for datainnsamling. Generelle metoder for datainnsamling er gitt i Tabell 7.

Tabell 3 METODER FOR INNSAMLING AV INFORMASJON (GHAURI & GRØNHAUG, 2010)

<b>Eksisterende litteratur</b>	Bøker, rapporter, tidsskrifter, artikler og lignende.
<b>Historisk gjennomgang</b>	For å kunne beskrive hva som hendte i fortiden, og forstå en prosess slik at man kan fremlegge en plan for framtiden. Ved å gå gjennom rapporter og dokumenter fra tiden man ønsker å studere, samt snakke med folk som har erfaringer om temaet.
<b>Casestudie</b>	Dyptgående studie av noen få eksempler eller prosjekter gjør at man får studert temaet i sine naturlige omgivelser.
<b>Fokusgrupper</b>	Samler en liten gruppe for å diskutere temaer for å skape interaksjon mellom deltakerne. En rask måte å samle informasjon på.
<b>Direkte informasjon/måling</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ikke deltagende observasjon: forskeren deltar ikke direkte men observerer for eksempel gjennom bruk av videokamera.</li><li>- Deltagende observasjon: forskeren er del av observasjoner som foregår over lengre tid.</li></ul>
<b>Intervju og spørreundersøkelse</b>	<p>Intervju og undersøkelser kan skje over post, telefon, e-mail eller personlig ansikt til ansikt. Strukturen på intervjuet og undersøkelsene kan variere i struktur:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Strukturert: spørsmålene og svarene er forhåndsbestemte.</li><li>- Ustrukturert: spørsmålene er bare delvis bestemte på forhånd.</li><li>- Semi-strukturert: spørsmålene er forhåndsbestemt, men kandidatene kan svare fritt.</li></ul> <p>Utvalget vil også variere mellom:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Ikke statistisk tilfeldig: Forskeren kan velge et utvalg basert på subjektiv vurdering. Man kan for eksempel prøve å lage et utvalg som representerer populasjonen, eller forsikre seg om at spesielle grupper er representert. Dette utvalget kan være lettere å velge, men kan gi misledende svar og ikke innfri ønsket om å representere helheten. Passer best om man søker å beskrive et fenomen med kvalitativ metode.</li><li>- Statisk: utvalget er statistisk tilfeldig og forskeren må være objektiv. Gir muligheten for å vurdere utfallets variasjon og avvik ved estimeringen.</li></ul> <p>Intervju er mer fleksibelt enn undersøkelser og er derfor vurdert som mer hensiktsmessig med kvalitativ studie.</p>

Undersøkelser kan ta for seg mange flere kandidater og egner seg best til kvantitativ studie.
---

I første omgang ble det gjennomført et omfattende litteratursøk for å forstå teorien og tidligere forskning på emnet. Litteraturstudiet danner grunnlaget for teorikapittelet i oppgaven. Den empiriske delen ble realisert ved hjelp av semi-strukturerte intervjuer med nøkkelpersoner fra to utvalgte case-prosjekter. De to casene er presentert senere i dette kapitlet. Begrunnelse for valg av metoder og detaljert informasjon om datainnsamlingen følger i de neste avsnittene.

### 3.2.1 Litteraturstudium

Masteroppgaven baserer seg på teori fra litteraturstudiet om emner som er aktuelle for den valgte problemstillingen. Dette er gjort for å få innsikt og kunnskap til å kunne utforme intervjuguidene og trekke bestemmelser som lar komme til en konklusjon. For å finne frem relevant litteratur ble det brukt ulike kilder. En del var funnet gjennom søkemotoren Ask BIBSYS. Tjenesten er levert av Universitetsbiblioteket og gir tilgang til å søke gjennom omtrent all relevant faglitteratur. Søkeresultatene ledet videre til relevante tidsskrifter og konferansejournaler. Da det var funnet aktuelle sitater i gjennomleste forskningsartikler og bøker, ble relevante referanser undersøkt videre.

Unntatt Bibsys brukte forfatteren andre søkefora som for eksempel Google og Diva. For å finne relevant litteratur, var det brukt en rekke ulike søkeord og ordkombinasjoner. Som nevnt tidligere har rapporten en eksplorerende forskningsdesign. Dette innebærer at forfatteren forsøker å hente så mye informasjon som mulig for å spisse den videre til mer konkrete kilder som er relevante for problemstillingen. Det er også slik litteraturstudien har foregått. Forskeren har satt seg inn i et nytt tema, og benyttet fleksibiliteten som ligger i forskningsdesignet ved å starte bredt for deretter å spesifisere søket.

Som vist i tabell 4, ble det utnyttet søkefunksjonene «og/eller» i Google for å avgrense søk. Tabellen presenterer en liste av søkeord og -kombinasjoner.

Tabell 4 SØKEORD OG -KOMBINASJONER

Søkekombinasjoner	Søkeord
BIM OG Prosjektering	Modellbaserte prosjekter
Prosjektledelse OG Prosjektering	Tegningsfrie prosjekter
BIM OG Samhandling	Tegningsløs byggeplass
Collaborative OG Design	Bygge uten tegninger
Design OG Management	Model-Based Layout
Cost Estimation OG Design	Integrated Project Delivery
	Lean Construction
	Lean Design

Ikke alle søkene ga resultat som var relevant for oppgaven. Men blant de som ga resultat ble det plukket ut ulike artikler i forhold til tittel, emne og rangering. Artikler som kom nederst på listen ble ikke tatt med. Enkelte litteraturkilder hadde modellbasert bygging som hovedemne, mens de andre inneholdt informasjon relaterte temaer.

I forbindelse med prosjektoppgaven var det gjort et større litteraturstudium om prosjekteringsprosessen generelt. Notater fra faget TBA270 Byggesak og prosjektadministrasjon ved NMBU var gjennomgått.

Under litteratursøk var det tatt hensyn til tidligere skrevet prosjektoppgaver og doktoravhandlinger med BIM relaterte problemstillinger. Flere av disse kildene var brukt som bakgrunn for teoridelen siden det innebærer at det ble gjennomført en omfattende litteratursøk og mye av den kunnskapen kunne benyttes videre i denne rapporten. De fleste av prosjektoppgavene var funnet på nettsiden til BuildingSMART Norge, en av de største norske databasene med BIM relaterte studier og artikler.

Litteraturen til forskningen ble også hentet fra Autodesk University (AU), en online læringsportal for Autodesk brukere. AU startet som verdens største konferanse om BIM og utviklet seg etter hvert til å omhandle flere emner. Formål med AU er å lære om nyeste innovasjoner og trender i bransjen.

Noen forskningsartikler som går direkte på problemstillingen, ble funnet i databaser med foredrag fra en annen BIM konferanse, «Revit Technology Conference» eller «RTC». Dette er en lukket database som kun gir tilgang til deltagere og foredragsholdere.

Forfatteren har også brukt en intern læringsarena for Multiconsult, PRAXIS Portal.

Teorien fra litteraturen ble benyttet som grunnlag for å lage spørsmål til intervjuer med nøkkelpersoner, og som sammenligningsgrunnlag opp mot erfaringer fra praksis. Det er benyttet induktiv metode, hvor forfatteren går fra antagelser ut fra litteraturstudium og tidligere erfaringer fra arbeid i prosjekter, til empirisk forskning som fører frem til en konklusjon gjennom en kvalitativ undersøkelse.

Da mye av informasjonen kommer fra ulike og til tider usikre kilder, har det vært viktig med god kildekritikk.

### 3.2.2 Case-studie og direkte informasjon gjennom arbeid i prosjekt

Casestudier brukes først og fremst som en empirisk undersøkelse for å beskrive et fenomen, skape forståelse og for å få en dypere innsikt i et komplisert problem. Tilnærmingen brukes ofte når problemstillingen er uklar eller er en pilotundersøkelse for andre studier (Kunnskapscenteret, 2016).

Valg av forskningsmetode blir ofte tatt på bakgrunn av følgende betingelser (Yin (2013):

1. type problemstilling
2. grad av kontroll forskeren har over hendelser og
3. grad av fokus på nåtid i forhold til historiske hendelser.

Yin (2013) hevder den viktigste måten for å differensiere blant de ulike forskningsmetodene er å klassifisere type problemstilling. Ved "hva"-spørsmål blir spørreundersøkelse eller arkivanalyse foretrukket, mens ved "hvordan"- og "hvorfor"-spørsmål blir casestudie, eksperiment eller historie foretrukket. For å skille historie, casestudie og eksperiment, kan man se på grad av kontroll forskeren har over hendelsene. Historie blir valgt når forskeren ikke har kontroll, som ved etterforskning av historiske hendelser. Casestudie blir foretrukket ved etterforskning av nåtiden når relevante hendelser ikke kan manipuleres. Casestudie og historie kan på mange måter overlape hverandre, men styrken til casestudie er muligheten til mangfold av dokumentasjon ved dokumenter, intervju og observasjoner. Derimot kan svakheten være at manipulasjoner av direkte og indirekte variabler kan forekomme. Eksperimenter blir brukt når forskeren kan manipulere hendelser direkte, presist og systematisk, som i et laboratorium eller i et feltstudium (Yin, 2013). Problemstillingen i denne masteroppgaven er et "hvordan"-spørsmål; «hvordan byggeplassen kan effektiviseres ved hjelp av modellbasert bygging». Forfatteren har liten kontroll over hendelser, og fokuset er på nåtiden. Derfor er casestudie valgt som forskningsmetode. Casestudie prøver å forklare en beslutning eller et sett av beslutninger. Denne forskningsmetoden forsøker å forklare hvorfor beslutningene er tatt, hvordan de ble implementert og hvilke resultater det medførte (Schramm i Yin, 2013).

Bakgrunnen for valg av case-studie som metode for datainnsamling er at det var ønskelig å innhente erfaringer fra virkeligheten. Målet er å stadfeste hvordan effekten faktisk har vært på konkrete parametere i faktiske prosjekter, i motsetning til kun å innhente generelle meninger fra prosjekteringsledere.

Yin (2013) tar utgangspunkt i fem viktige komponenter av et case-studies forskningsdesign. De forklarer hvorfor casestudien er utført slik den er:

1. Forskningsspørsmål

Litteraturstudium ga oversikt over hva som tidligere var undersøkt av de andre forskere, og hva som ikke ble funnet svar på. Det var et greit utgangspunkt i utarbeidelse av forskningsspørsmål. Hovedproblemstillingen og underspørsmål er listet i begynnelsen av prosjektoppgaven.

2. Påstander

Det ble ikke utformet noen spesielle påstander.

3. Antall casestudier brukt for analyse

Det ble valgt to casestudier definert som relevante eksempler på tegningsløse prosjekter. Nøkkelpersoner fra begge prosjektene ble intervjuet (se vedlegg for intervjuguidene). Det anses som fordel å se på flere prosjekter fordi Yin mener at dette styrker undersøkelsene hvis en bruker flere datakilder og dermed kan få mer presise og robuste resultater (Yin, 2013). Dette kalles for triangulering, og i denne prosjektoppgaven brukes det både metode- og datatriangulering. Data samles ved både litteraturstudium, casestudier og intervjuene. Og under intervjuer vil spørsmål stilles til flere nøkkelpersoner med ulik bakgrunn fra begge case-prosjektene. Bakgrunn for valg av casene følger nedenfor.

#### 4. Koblingen av data til påstandene

Yin (2013) poengterer at man tidlig må ha i tankene at datainnsamlingen må være utformet slik at det på enklest mulig vis kan knyttes til påstandene. I denne oppgaven er intervju spørsmålene direkte knyttet til forskningsspørsmålene og funn fra litteraturen for enten å bekrefte eller få nye nyanser rundt temaet. Dette kommer klarere frem i vedlegg 2, intervjuguide.

#### 5. Kriterier for tolkning av resultater

Kvantitative studier bruker ofte signifikansnivå for å tolke og vurdere funn. Statistisk signifikans er et begrep som brukes for å beskrive sannsynligheten for at noe er et resultat av tilfeldigheter. Et resultat av en analyse betegnes som statistisk signifikant dersom det er lite sannsynlig at resultatet har oppstått tilfeldig. Begrepet signifikans i denne sammenhengen betyr ikke nødvendigvis at noe er viktig, slik det ofte kan i andre sammenhenger. Det betegner kun at noe sannsynligvis ikke er tilfeldig. Uttrykket signifikansnivå benyttes ofte for å beskrive hvor statistisk signifikant et resultat må være for å være akseptabelt. Men det er vanskelig å nytte i casestudier (Yin, 2013). Han foreslår å identifisere mulige motstridende forklaringer på forhånd for å kunne ta hensyn til dette under datainnsamlingen. I denne oppgaven er det tatt hensyn til dette ved utforming av intervjuguidene (se vedlegg).

Det ble bestemt å bruke to prosjekter fra byggenæringen som casestudier. Et av dem betraktes som hovedstudie og det andre – som sidecase. Kriteriene som ble lagt til grunn ved valg av caser var at hele eller deler av prosjektet bygges fra modell uten tegninger. Entreprenøren var involvert i begge prosjektene fra tidligfasen og gjennom hele prosjekteringen, samt etter at byggingen var startet. I tillegg var det av interesse å se på forskjellige typer entrepriser for å undersøke hypotese om hvordan det kan påvirke et tegningsløst prosjekt. De utvalgte prosjektene oppfylte kravene til passende case, og forskeren fikk et klarsignal fra nøkkelpersoner om at prosjektene kunne brukes. Dataene som var innsamlet i denne sammenhengen, inkluderer både prosjektdokumentasjon, intervjuer med nøkkelpersoner samt observasjoner fra prosjekteringsmøter.

Videre følger en kort presentasjon av case-prosjektene.

## Hovedcase

### Smibelg og Storåvatn kraftverk (SMISTO)



Figur 8 SMISTO: presentasjon av digital modell i Infracore

#### Prosjektdata

Kontraktstype: totalentreprise

Periode: 2015-2019

Budsjett: 1,3 milliarder NOK

Byggherre: Smisto Kraft AS

Entreprenør: Hæhre Entreprenør AS

Rådgivere: Multiconsult ASA

Prosjektet regnes for å være Norges største vannkraftverk i nyere tid. Prosjektet fordeler seg på to separate anlegg, Smibelg kraftverk og Storåvatn kraftverk på hver sin side av Gjervalen fjord, vest for Mo i Rana. Begge er høytrykks vannkraftverk i fjell med stor magasineringskapasitet uten bruk av store dammer. Vannet overføres til de to kraftverkene gjennom totalt 27 km tunnel og sjakter. Sammen vil de to Kraftverkene kunne dekke strømforbruket til omlag 10.000 husstander.

Modellbasert prosjektering og utførelse med tegningsløse leveranser er utviklet i nært samarbeid med entreprenøren gjennom fokus på verktøy, arbeidsmetodikk og tverrfaglig samhandling. Dette innebærer bygningsinformasjonsmodellering (BIM) og at prosessene var lagt til rette for en mer effektiv utførelse og bedre kommunikasjon mellom involverte parter i prosjektet, både internt og eksternt (Multiconsult, 2016).



## Sidecase

### Vamma 12 kraftverk



*Figur 9 VAMMA kraftverk: eksisterende anlegg*

#### **Prosjektdata**

Kontraktstype: hovedentreprise

Periode: 2015-2019

Budsjett: 800 millioner NOK

Byggherre: Hafslund Produksjon AS

Entreprenør: AF Gruppen AS

Rådgivere: Norconsult ASA

Hafslund Produksjon besluttet i september 2015 å bygge ut et nytt, stort vannkraftaggregat i Glomma, Vamma 12, som en utvidelse av Vamma kraftverk i Glomma mellom Skiptvet og Askim kommune i Østfold. Vamma kraftverk ble påbegynt i 1907 og produksjonen startet i 1915. Vamma er Hafslunds største kraftverk og Norges største elvekraftverk. Det vil videre utbygges til større dimensjon når Vamma 12 settes i drift.

Prosjektet utføres fullt ut basert på Building Information Modelling (BIM) som omfatter alle fag. Det leveres ikke tegninger til byggeplassen, men oppdaterte digitale modeller med all informasjon som trengs for å bygge anlegget (Ludeshier-Huber, 2016).

Dette prosjektet ligner veldig mye på hovedcasen og brukes derfor som en referanse for sammenligning. Det vil tas hensyn til forskjeller i metoden som var utviklet på Vamma for gjennomføring av et tegningsløst prosjekt.

### 3.2.3 Intervjuer

Hovedkilden til informasjon har vært intervjuer med prosjektledere, både fra case-prosjektene og andre prosjekter. Intervjuspørsmålene ble utarbeidet av forfatteren med hensyn på problemstillingen, forskningsspørsmålene og oppbyggingen av teorien i masteroppgaven. Spørsmålene ble rettet slik at de passet inn i empirien, og var dermed avgjørende for å kunne gjennomføre analysen og svare på forskningsspørsmålene og problemstillingen.

Intervjuer gir mulighet til å dokumentere erfaringer og synspunkt fra alle de viktige aktørene for så å analysere svarene opp mot problemstillingene. Man tar sikte på å få frem nyanserte beskrivelser av situasjonen intervjupersonen befinner seg i (Dalland, 2012). Det ble valgt å kjøre semi-strukturerte intervjuer. Ifølge Kvale og Brinkmann (2009) er denne typen best egnet når et bestemt tema skal undersøkes. Intervjumetoden gjør det mulig å følge en strukturert intervjuguide for å få valide og gyldige svar på forskningsspørsmålene. Samtidig kan man stille oppfølgingsspørsmål dersom det er hensiktsmessig. På den måten vil man få sammenlignbare resultater fra intervjuene, samt at man kan gå i dybden på enkelte temaer dersom interessant informasjon dukker opp.

Det ble utviklet en intervjuguide (se vedlegg 2) som utgangspunkt for alle intervjuene. Spørsmålene varierte fra generiske til case-spesifikke spørsmål og samme spørsmål ble stilt til alle intervjupersonene. Det var kun mindre modifikasjoner for å tilpasse formuleringene til de ulike aktørene. Spørsmålene var utformet for å besvare hovedspørsmålet, men ga også rom for oppfølgingsspørsmål og muligheter til å innhente informasjon om relaterte emner. Basert på kunnskapen fra litteraturstudiet, ble intervjupersonene spurt om sin opplevelse av konkrete fordeler og ulemper for å undersøke om det finnes et mønster og/eller sammenhenger. Spørsmålene var også åpne for å unngå korte, komprimerte svar. Det ble bevisst utformet objektive spørsmål for å unngå ledende spørsmål.

Forfatteren har også tatt hensyn til å lage spørsmål som er lett forståelige, korte og frie for akademisk språk. Dette er i samsvar med Kvale og Brinkmann (2009) som i sin bok påpeker at et begrepsmessig godt tematisk forskningsspørsmål ikke nødvendigvis er et godt dynamisk intervjuspørsmål.

Intervjuene ble avholdt på byggeplasser eller på de involverte bedriftenes kontorer. De varte i alt fra 45 til 60 minutter. I forkant av intervjuene fikk alle intervjupersonene tilsendt en introduksjon til oppgaven, samt informasjon om forfatteren som intervjuer (vedlegg 1). Den samme informasjonen ble også kjapt gjennomgått i forkant av hvert

intervju. Intervjupersonene fra casene var prosjektledere for henholdsvis entreprenøren og rådgiveren. Intervjuobjektene har lang erfaring fra prosjektering som gir et godt grunnlag for å uttale seg om problemstillingen. Ved å ha et utvalg med ulike representanter fra begge prosjektene, mener forfatteren at validiteten er god, og at resultatet fra intervjuene representerer helheten.

Tre intervjuer på hver case ble holdt, samt fire intervjuer med erfarne prosjektledere fra andre prosjekter. Datatriangulering ble derfor oppnådd. Erfaringen fra intervjuene var at intervjuguiden fungerte til sitt formål og gjorde at intervjuene foregikk på tilnærmet lik måte hver gang. Enkelte intervjupersoner var vanskeligere enn andre å holde på rett spor og hadde lett for å drifte avgårde. Da fungerte intervjuguiden godt som et virkemiddel for å få samtalen tilbake på rett spor. Enkelte spørsmål ble besvart som deler av refleksjonen rundt andre spørsmål, og flyten i intervjuene var derfor ulik for alle intervjupersonene. Intervjuene ble innspilt på diktafon og transskribert i etterkant.

Problemstillingene og intervju spørsmålene ble godt mottatt av samtlige intervjupersoner. Det var bred enighet om at temaet er viktig og aktuelt, og intervjupersonenes respons tyder på et stort engasjement rundt hvordan man skal kunne samarbeide best mulig i byggeprosjekter.

Et kvalitativt intervju er ofte preget av mye informasjon. Gjennom en analyse må man prøve å dele inn informasjonen og kategorisere den for å skape oversikt (Ghauri & Grønhaug, 2010). Forfatteren har kategorisert resultatene fra intervjuene og presenterer resultater i delkapitler. Intervjuene belyser hvordan arbeidsmetodikk hos rådgiver og entreprenør må endres for å kunne bygge fra modell uten tegninger. Ved presentasjonen av resultatene fra intervjuene, i kapittel 5, analyserer og drøfter forfatteren informasjonen.

### 3.3 Resultatenes troverdighet

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved hjelp av vitenskapelige metoderegler. Metodene skal sikre at rapporten presenterer troverdig kunnskap. Dalland (2012) påpeker viktigheten av et kritisk syn på egen forskning og trekker særlig frem kravene til validitet og reliabilitet. Yin (2013) mener det styrker troverdigheten til forskning dersom man bruker et flertall av kilder til dokumentasjon, fremlegger all rådata for etterprøving, bruker en oversiktlig struktur så leseren lett kan følge avledningen, og at man er kritisk til kildene sine. Yin utdyper videre at noen av svakhetene til intervju som metode for datainnsamling er at det forekommer dårlig formulerte spørsmål, intervjupersoners subjektivitet, og at intervjupersoner kan svare det de tror intervjuer ønsker (refleksivitet).

Ved å basere forskningsdesignet på Yins anbefalinger har resultatene god troverdighet. Det er brukt både data- og metodetriangulering, all innsamlet data er

vedlagt og strukturen på oppgaven er bygget opp slik at leseren ledes fra teori, via undersøkelser til resultater og drøfting.

### 3.3.1 Validitet

Validitet står for relevans og gyldighet (Dalland, 2012). Det skilles også mellom ekstern og intern validitet. Intern validitet betyr at det som måles må ha relevans og være gyldig for de problemstillingene som undersøkes (Yin, 2013). Forfatterens oppfatning er at den interne validiteten til oppgaven er god, ettersom datainnsamlingen har fokusert på forskningsspørsmålene og problemstillingene. Det er også gjort analyser for å sammenlikne responsen fra de ulike aktørene og casene. Ekstern validitet er hvorvidt målingene som er gjort er gyldige også for andre situasjoner enn den undersøkte, og om det er generaliserbart. Det er mange premisser som ligger bak, men det er forfatters oppfatning at funnene vil være gyldige også i andre prosjekter. Flere funn fra teori ble bekreftet av resultatene og bør i så måte være gyldige for tilsvarende prosjekter. Konteksten for undersøkelsene vil være lik i mange prosjekter av samme organisering. Styrken til denne oppgaven er at det er sett på to case-studiene, uavhengig av hverandre. Dette styrker konklusjonene til undersøkelsene.

### 3.3.2 Reliabilitet

Reliabilitet betyr pålitelighet og handler om at målinger må utføres korrekt og eventuelle feilmarginer må gjøres rede for (Dalland, 2012). Det handler også om etterprøvbarehet, og høy reliabilitet tilsier at en annen forsker skal få tilnærmet samme resultat dersom samme undersøkelse utføres igjen. Etterprøvbarehet i kvalitative studier er på generell basis vanskelig (Samset, 2013). Ettersom metodeavsnittet i rapporten var relativt begrenset er denne prosessrapporten et virkemiddel for å bevise reliabiliteten til forskningen. Forskningsdesignet- og metoden er godt beskrevet og samme intervju kan utføres på nye prosjekter. Styrker og svakheter er beskrevet, slik at ny forskning rundt tema kan ta høyde for dette.

### 3.3.3 Diskusjon av feilkilder

Ved en eksplorativ forskningsdesign kan en rekke faktorer påvirke resultatene og gjøre dem mindre verdifulle, slike faktorer kaller vi feilkilder. Når undersøkelsens resultater avhenger av få respondenters svar er det viktig å være bevisst på mulige feilkilder. Ved intervjuer er det viktig å sørge for at respondentenes svar ikke blir påvirket av intervjueren eller situasjonen (Grenness, 2001).

Intervjuerens nøytralitet, med tanke på spørsmål og holdninger, er viktig for å oppnå så riktige data som mulig. For å minimere feilkilder ved intervjuene ble de foretatt i respondentenes omgivelser, og alle spørsmålene var konstruert for å få frem respondentenes egne ytringer. Thagaard (2013) omtaler det å unngå å påvirke

respondentene i størst mulig grad som et nøytralitetsideal. Mulighetene for å oppnå slik nøytralitet er en styrke ved ustrukturerte og semi-strukturerte intervjuer da intervjuobjektet ikke tvinges inn i et bestemt tankesett, men kan uttrykke sine meninger om temaene som er gitt i intervjuguiden. Ved observasjoner er mulige feilkilder egenskaper eller holdninger til observatøren. Denne feilkilden ble unngått ved at observatøren var bevisst på å forholde seg nøytral til dataene som ble samlet inn. Et større antall undersøkelsesenheter ville redusert muligheten for feilkilder og sikkerhet. Ytterligere undersøkelser og flere case-studier vil kunne styrke resultatene.

Litteraturen og siteringene som er brukt i oppgaven er kritisk vurdert for å definere dataenes verdi. Det er sett på hvem som har skrevet informasjonen, hva slags innhold den har, når og hvor den ble publisert, samt for hvem og hvorfor den ble produsert. Informasjonens troverdighet er i stor grad knyttet til forfatterens renommé og hvilken kvalitetskontroll informasjonen har gjennomgått. Er informasjonen hyppig sitert i andre forskningsartikler styrker dette informasjonens troverdighet. Objektivitet i informasjonen er knyttet til om innholdet er partisk eller ikke. Det må også avdekkes om det foreligger interessekonflikter. Nøyaktigheten til informasjonen vurderes etter hvor oppdatert den er, om det er fakta eller meninger og om det støttes av andre publikasjoner. Egnethet går på i hvilken grad informasjonen er relevant for oppgavens problemstilling.

På tross av at litteraturen er gjennomgått kildekritisk, vil det fortsatt være rom for feilkilder. Selv om det er prøvd etter beste evne å benytte de mest anerkjente kildene er det ingen garanti for at bedre og mer akseptert litteratur er oversett. Det er derfor viktig å anerkjenne at det kan være tilfeller av feilkilder. For å redusere den var det gjort en god vurdering av litteraturkilder som var nevnt ovenfor.

## 4 Resultater

### SMISTO

#### 4.1 Grunnlag for gjennomføring av prosjektet

Tiltakshaver «Smisto Kraft AS» tildelte kontrakten i form av totalentreprise for utførelse av alle fjell og bygningsmessige arbeider på Smibelg og Storåvatn kraftverk til «Hæhre Entreprenør AS». Hydromekanisk og elektromekanisk utstyr skal bli levert og installert av sideentreprenører kontrahert av byggherre. Kontraktsformen innebærer at Hæhre er ansvarlig for alle aktiviteter fra design, anskaffelse, bygging til overlevering av prosjektet til tiltakshaver.

På vegne av totalentreprenør utfører «Multiconsult ASA» rådgivning for alle fjell og bygningsmessige arbeider i tillegg til koordinering mot hydromekaniske og elektromekaniske leverandører kontrahert av prosjekteier.

Bruk av totalentreprise som kontraktsform er ukonvensjonell ved utførelse av norske vannkraftprosjekter hvor konsulent tradisjonelt gjennomfører prosjektering på vegne av prosjekteier. Kontraktsformen følger til tett samarbeid mellom totalentreprenør og rådgiver. Gjennom tidlige avklaringsrunder kunne begge partene avklare sine mål for prosjektgjennomføring, med fokus på kontinuerlig samhandling for å oppnå følgende:

- Kostnadseffektive tekniske løsninger
- Effektiv utførelse på byggeplass
- Effektiv arbeidsflyt fra konsept til konstruksjon
- Oppfyllelse av krav til nødvendig dokumentasjon av bygningsmessige arbeider

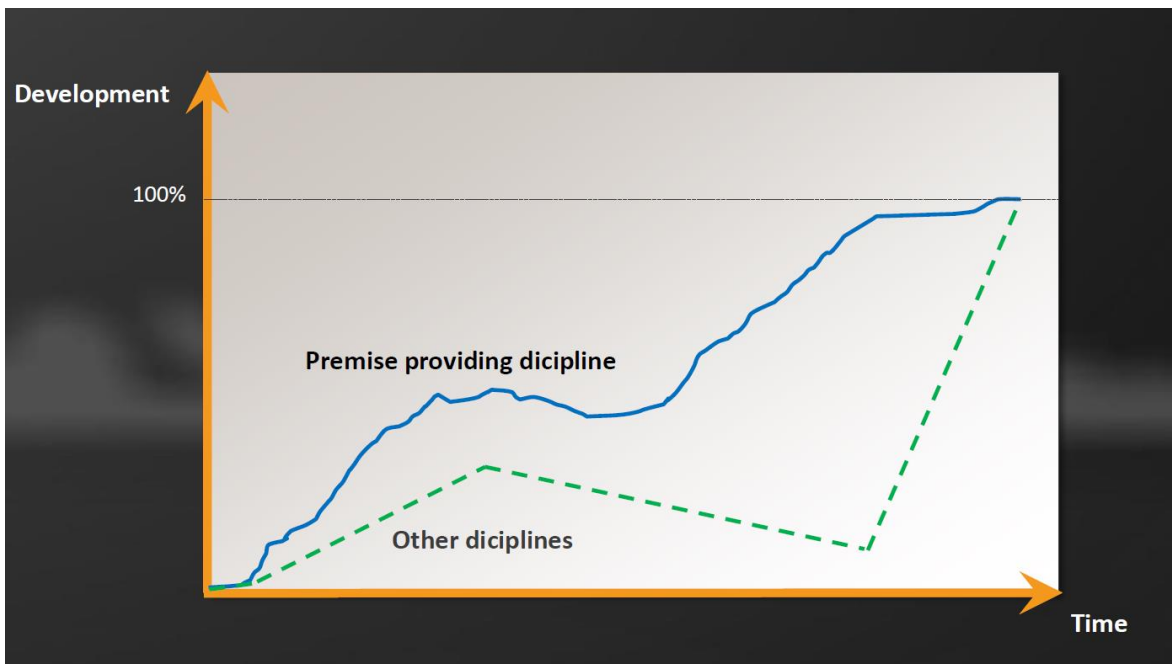
Det var en felles ambisjon med en potensiell stor verdi for begge partene å utfordre tradisjonell metode for både prosjektering og bygging, ved å gjennomføre alle prosjekteringsarbeidene i 3D / BIM-modeller. Videre formidles anskaffet design til entreprenøren via modellene, uten behov for tradisjonelle 2D tegninger (Smith, H. og Hansen, G. 2016).

#### 4.2 Planlegging og prosjektering

Den uvanlige kontraktsformen i kombinasjon med ukonvensjonell kommunikasjonsflyt mellom rådgiver og entreprenør, ved hjelp av 3D-modell, krevde endringer i planleggings- og prosjekteringsprosessen. Det ble innført endringer både med hensyn til selve arbeidsflyten og bruk av verktøy.

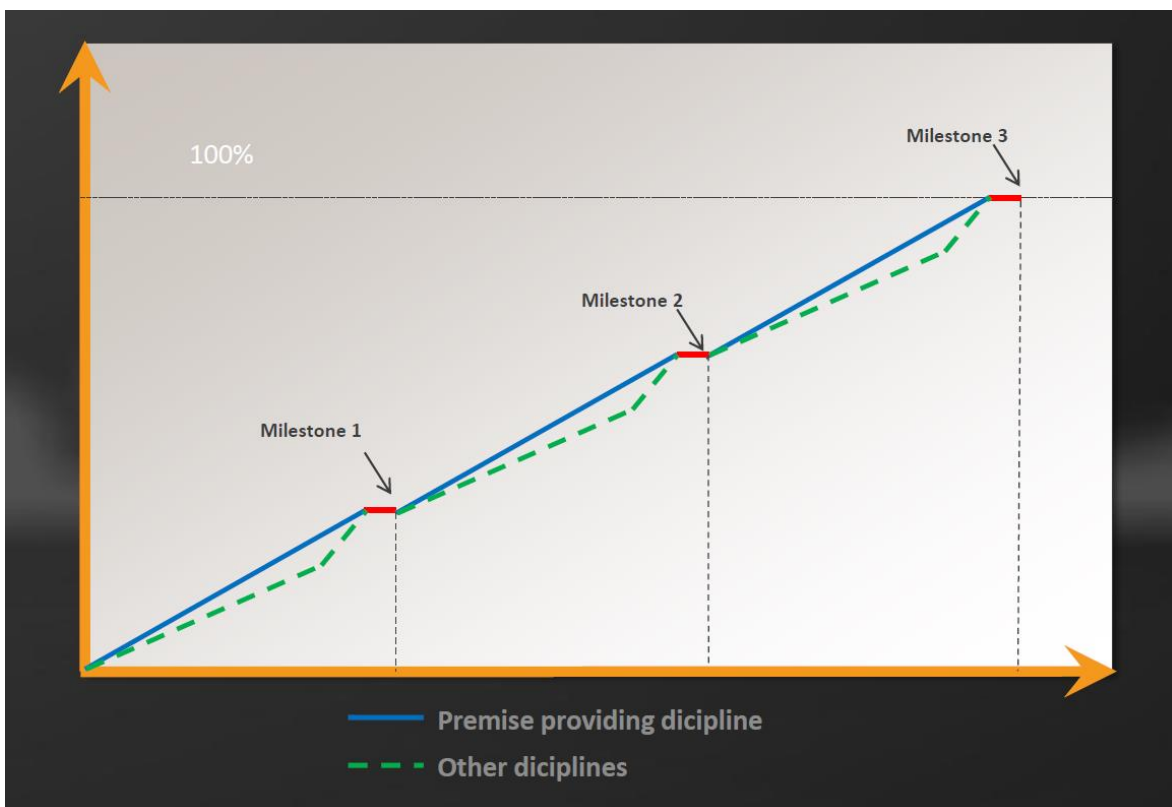
Prosjekteringsprosessen er en iterasjon mellom alle involverte disipliner. Premissgivende disiplin legger føringen for de øvrige fagene.

På bildet under ser vi hvordan prosjektet utvikler seg med tid i tradisjonelle prosjekter.



Figur 10 Utvikling av prosjektet ved tradisjonell prosjektering

Ved å anvende en lineær tilnærming for å strukturere den overordnede prosessen i delfaser hvor arbeid i neste fase ikke er startet før en viss milepæl er oppnådd av alle disiplin, var det utarbeidet et mer strømlinjeformet prosjekteringsløp med mindre iterasjonssykluser (Smisto kraftverkt, 2016).



Figur 11 Lineær tilnærming for strukturering av en prosessprosess i delfaser

Arbeidsflyt i prosjektet var basert på Multiconsult sin gjennomføringsmodell, men det var tilpasset for å oppnå prosjektets spesifikke mål. Prosessen inkluderer følgende delfaser;

1. Initialisering av prosjekteringsarbeider
2. Tverrfaglig prosjektering
3. Detaljprosjektering
4. Oppfølging av utføring på byggeplass

Delfaser definerer involvering av entreprenør, leverandører og tiltakshaver gjennom prosessen, hva slags arbeid som må gjøres, i hvilken rekkefølge og inntil hvilken detaljeringsgrad.

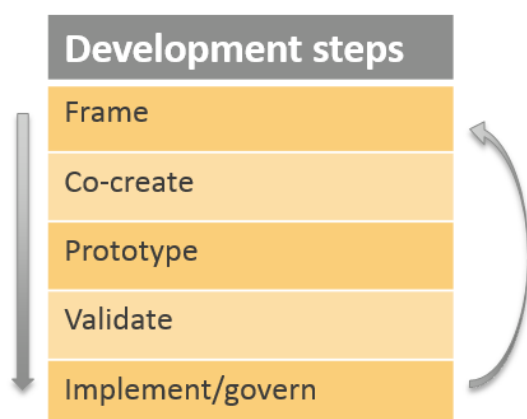
Den foreslåtte arbeidsflyten har vist seg å effektivisere prosjekteringsprosessen og redusere mengden av revisjoner som typisk kan oppstå i lignende prosjekter. I forhold til prosjektledelse fører begge de fordelene til kostnadsreduksjon. I tillegg gir en ny arbeidsflyt en forbedret plattform for planlegging og oppfølging av prosjektet, som er beskrevet i kapittel 4.4 om systemet med forskjellige kvalitetsnivåer.

### 4.3 Metode for utvikling og implementering av modellbasert gjennomføring

For å imøtekomme ambisjoner om direkte innhenting av data fra 3D/BIM-modeller på byggeplassen uten bruk av konvensjonelle 2D tegninger, ble det fokusert på potensielle forbedringer av tradisjonelle metoder innenfor følgende områder;

- Tilpasset bruk av eksisterende programvare for både design og konstruksjon
- Effektivisere måten informasjonen overføres fra rådgiver til entreprenør på, basert på utnyttelse av data
- Nye produkter som erstatter tradisjonelle 2D tegninger
- Mulighet for utvidet kommunikasjon gjennom modeller

For å utvikle og implementere konsepter hvor brukbarhet på byggeplass er i fokus



gjennom hele prosjekteringsfase, ble det brukt et såkalt tankesett av «flettet» modell (Kilian, 2015). Dette konseptet ble valgt fordi den slår sammen design, strategi og bruk av teknologi gjennom fem påfølgende utviklingstrinn og gjennom flere iterasjoner.

Bildet til venstre viser utnyttede trinn i utvikling og implementering av BIM-konsept.

Figur 12 Fem utviklingstrinn ved «flettet» BIM-konsept (Kilian, 2015)



Med begge partene involvert i kontinuerlig utvikling av forskjellige konsepter, ble det mulig å fortløpende teste funksjonalitet på byggeplass og komme fram til nye løsninger som har ført til videre utvikling beskrevet videre i denne rapporten.

#### 4.4 Utvidet bruk av BIM-modeller

I tillegg til 3D geometri i modellen, må det opprettes et sett av egenskaper for alle prosjekterte modellobjekter for å danne en forståelig presentasjon av hva som skal bli bygget. På en vanlig 2D tegning er geometri oppgitt i form av planvisninger og snitt tatt ut fra 3D modell eller tegnet manuelt med referanse til koordinatpunkter, mens spesifikasjoner på tegninger framfører mer informasjon om materialer, installasjonsteknikker og kvalitetsstandarder.

En forskjell mellom 2D og 3D er at 3D-modell ikke bare viser en spesifikk visning, men gir en komplett elementgeometri som er plassert riktig i forhold til verdenskoordinater. I kombinasjon med tildelte egenskaper for hvert element, dannes det BIM.

For Smisto prosjektet ble det utviklet et sett med informasjonsparameterne tilpasset prosjektets behov. Dette informasjonssettet er definert for hvert enkelt element i BIM'en og inkluderer data om:

- Kvalitetsnivå
- Sekvens
- Element ID
- Bestemmelser
- Forklaringer
- Krav til brannmotstand
- Materialkrav
- Mengder osv.

Kombinasjon av elementgeometri og parameterne gjør at all informasjon er tilgjengelig når den trenges. Men for å kunne hente nødvendig data fra modellen, kreves det kjennskap til programvaren på byggeplassen.

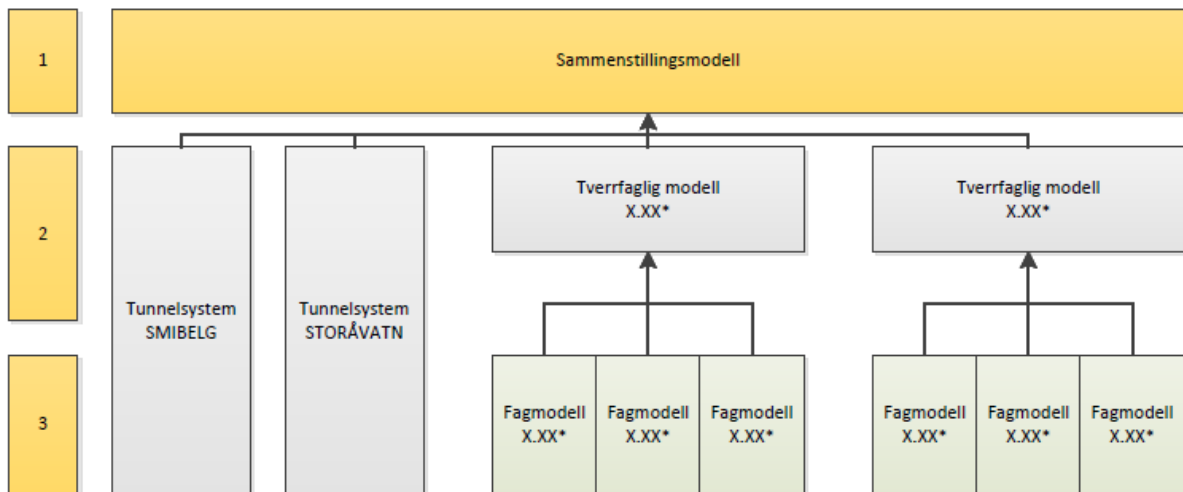
##### 4.4.1 Modellhierarki

For å strukturere og legge til rette for henting av informasjon, er modellene utarbeidet og organisert i følgende hierarki;

1. Sammenstillingsmodell
  - Illustrasjon av totalt sammensatt modell og kontroll av overordnede grensesnitt mellom fag ved fjell- og betongarbeider
2. Tverrfaglige modeller for hver hovedkonstruksjon (for eksempel, kraftverk eller dam) i Solibri

- Håndtering av grensesnitt, kollisjonskontroll og tverrfaglig koordinering
  - Simulering av konstruksjoner
  - Arbeidsunderlag og instruksjoner for bygningsmessige arbeider
  - Informasjonssentral
3. Fagmodeller, Civil 3D for tunnelsystemer og landskapsarbeider og Revit for alle andre konstruksjoner
- Prosjekteringsverktøy
  - Eksport av IFC-modeller til tverrfaglige modeller
  - Eksport av spesifikke modeller, tilrettelegging for direkte henting av oppmålingsdata på byggeplass

Bildet under viser inndeling av modellhierarkiet i prosjektet i tre nivåer, der det utarbeides arbeidsunderlag fra nivå 2 og 3;



Figur 13 Modellhierarki i SMISTO prosjektet

#### 4.4.2 Modellutveksling med side- og underentrepriser

Som beskrevet tidligere i kapittel 4.1, leveres hydromekanisk og elektromekanisk utstyr av leverandører kontrahert av prosjekteier. Underlag fra leverandørprosjektering må samordnes med RIB-hovedmodell, utarbeidet av Multiconsult. For å sikre god kvalitet skal leveranser av modell fra leverandører og entreprenører leveres i et format som kan tas i bruk av prosjekteringsgruppen Smisto kraftverk på en hensiktsmessig og enhetlig måte.

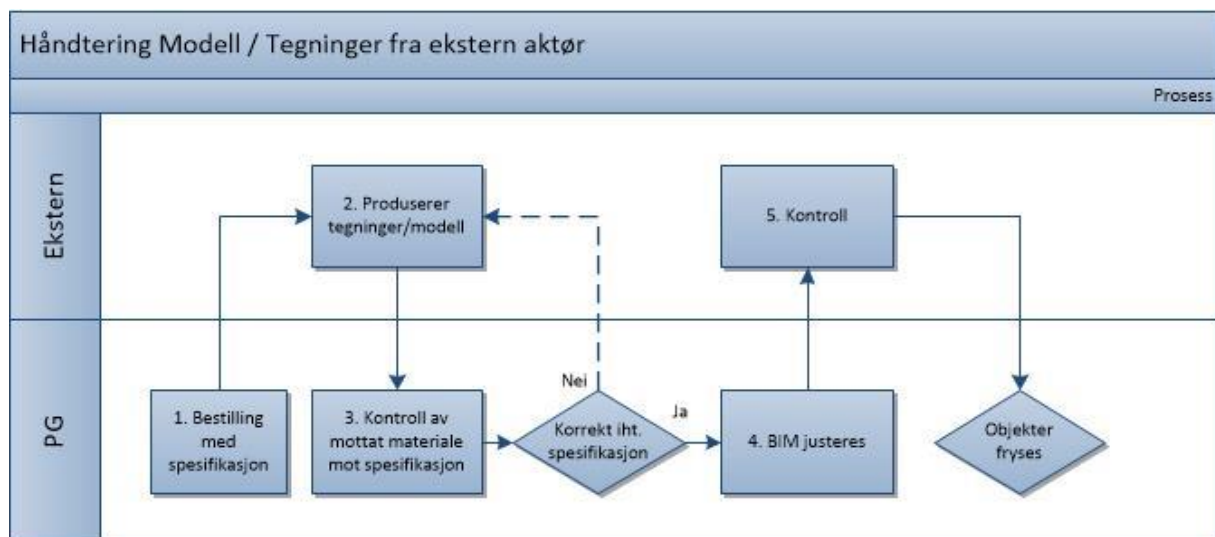
Det er kontraktfestet at modeller som leveres skal være nøyaktig og skal ha et fornuftig nivå av detaljering. Samtidig er det viktig at modeller ikke har høy grad av unødvendig modellinformasjon som utstrakt bruk av små detaljer som ikke vil være til nytte for annet en produksjonstegninger av utstyret. Eksempler på dette kan være utstrakt bruk av mutre, skiver, pakninger og høy detaljeringsgrad inne i objekter.

Fortrinnsvis leveres modeller i forenklede versjoner, kun med ytre geometri der dette er mulig, men slik at alle grensesnitt mot andre aktører er beskrevet. Kombinert med modeller fra RIB-en, vil de modellene la man håndtere fysiske grensesnitt, kjøre kollisjonssjekk i tidlig fase av prosjektet og gjennomføre tverrfaglig koordinering i samhandlingsmodell.

Leverandørens 3D modell er utvekslet på ett av de følgende formatene:

- .adsk (foretrukket utvekslingsformat)
- .IFC (foretrukket utvekslingsformat)
- .stp
- .3D-dwg

Når en leverandør har ferdigstilt sitt underlag/modell, oversendes dette tilbake til prosjekteringsgruppen for kontroll og godkjenning. Ved behov for endringer, oversendes modellen tilbake til den eksterne aktøren med bestilling av ønskede endringer i prosjektets underlag.



Figur 14 Prosess for utveksling av modeller med eksterne aktører

Konstruksjoner er merket i henhold til den planlagte byggesekvensen, og kombineres med modeller fra leverandørene basert på installasjonsrekkefølgen. Dette merkingssystemet tillater en mer avansert samordning av konstruksjon og installasjonssekvensering i prosjektering.



#### 4.4.3 Kvalitet og status på objektnivå i modellen

For å styre den overordnede planleggings- og prosjekteringsprosess i modellen, kan utviklingsnivå av alle komponenter struktureres i et kvalitetssystem som viser status og kvalitet oppnådd med hensyn til design, tverrfaglig kontroll og konstruksjon for hvert

element. Den status et element får, er visualisert sammen med den planlagte byggesekvensen i samhandlingsmodellen.

Neste tabell viser hvilke statuser som ble brukt i prosjektet og definerer hva som kreves for å oppnå ulike statuser. Prosjektet benytter en forenklet versjon av et internt statussystem utviklet i Multiconsult (se Vedlegg 7) som i sin tur bruker noen av statuser fra BuildingsSMART tabell (se tabell 1).

Tabell 5 STATUSNIVÅER PÅ OBJEKTER

Status	Definisjon	Farge
<b>S1</b>	<b>Foreløpig informasjon</b> Styringsobjekter er definert med foreløpig plassering og geometri. Det kan oppstå endringer med objekter.	
<b>S2</b>	<b>Klart til tverrfaglig kontroll</b> Styringsobjekter har frosset grunnlagsinformasjon, har riktig plassering og maksimale ytre grenser for geometri er definert. Objekter er kontrollert i egen disiplin og er klar for tverrfaglig kontroll.	
<b>S3</b>	<b>Frys</b> Kommentarer fra tverrfaglig kontroll er implementert. Styringsobjekter har endelig form og plassering. Grensesnitt mot andre objekter og disipliner er frosset. Objekter blir nå premissgivende for øvrige fag. Detaljering mot S4 skal ikke påvirke andre disipliner og objekter.	
<b>S4</b>	<b>Utgitt for bygging</b> Detaljprosjektering av objekt er fullført og dokumentert iht. gjeldende krav. Relevant leverandørinformasjon er lagt til. Objekter/modell er utgitt for bygging.	
<b>S5</b>	<b>As built</b> Objektet er bygget, red-line mark-up er utført og modell er oppdatert med nødvendig type- og leverandørinformasjon, installasjon og testing.	

Alle konstruksjoner er utviklet og merket i forhold til den planlagte byggesekvensen. I kombinasjon med nivåer for kvalitetskontroll, øker det funksjonalitet i modellen, og en får for en grafisk presentasjon av utviklingen i modellen. Dette skaper bedre planleggings- og oppfølgingsrutiner i prosjektet, og plattform hvor alle involverte aktørene enkelt kan kommunisere med hverandre.

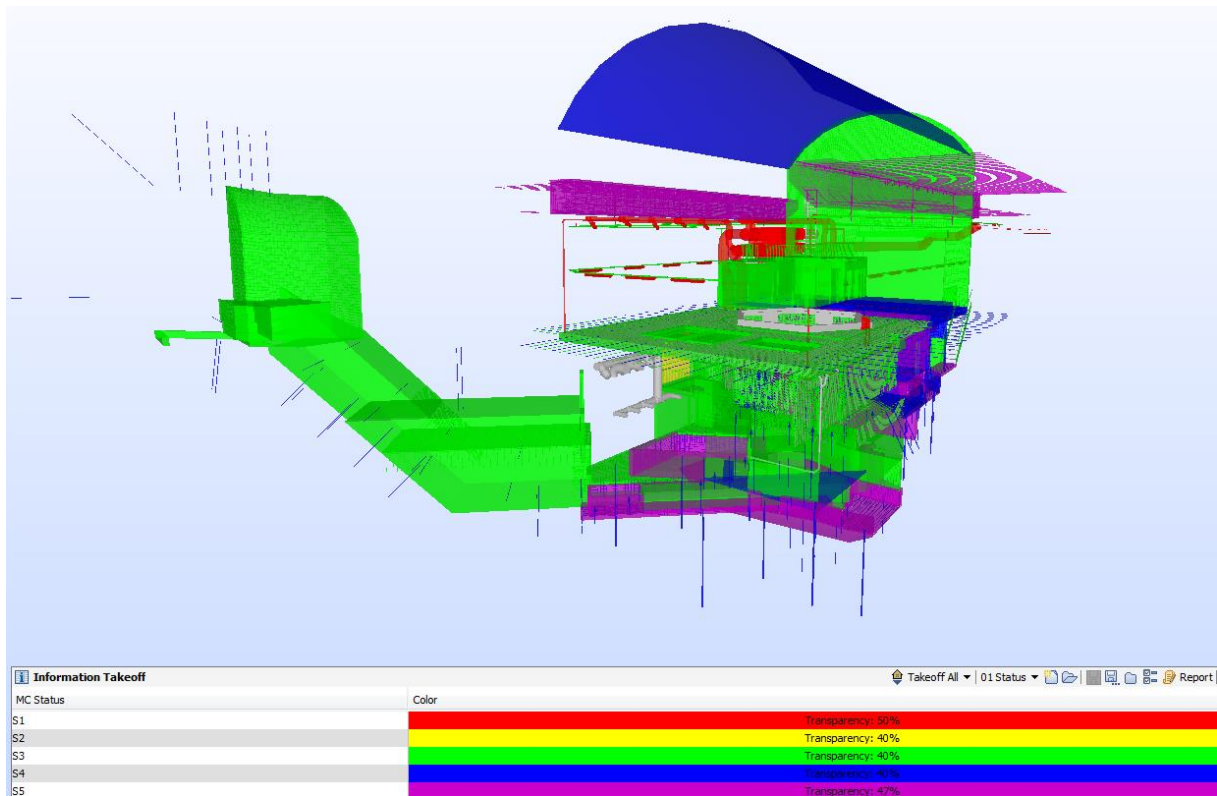
Modell viser hele tiden den komplette konstruksjonen for visualiseringsskyld og for å øke forståelsen av prosjektet, men entreprenør kan ikke starte å bygge noen objekter som har status lavere enn «S4».

Merke «S5» settes på objekter som er fullført på byggeplassen når utførelsen er kontrollert og i samsvar med modellen fra prosjekterende i henhold til entreprenørens

kontrollsystem som inkluderer oppmåling av de utførte elementene. Hvis det er avvik mellom oppmåling og modell fra prosjekterende, må modell justeres tilsvarende før merket «S5» kan settes på objekter.

Oppgradering til «som bygget» -dokumentasjon vil potensielt skape et funksjonelt underlag for FDVU-fase i prosjektet.

Figuren under illustrerer modell fra Solibri hvor hvert enkelt element i modellen fargelegges i forhold til oppnådd status:



Figur 15 Visualisering av objektstatus i modellen

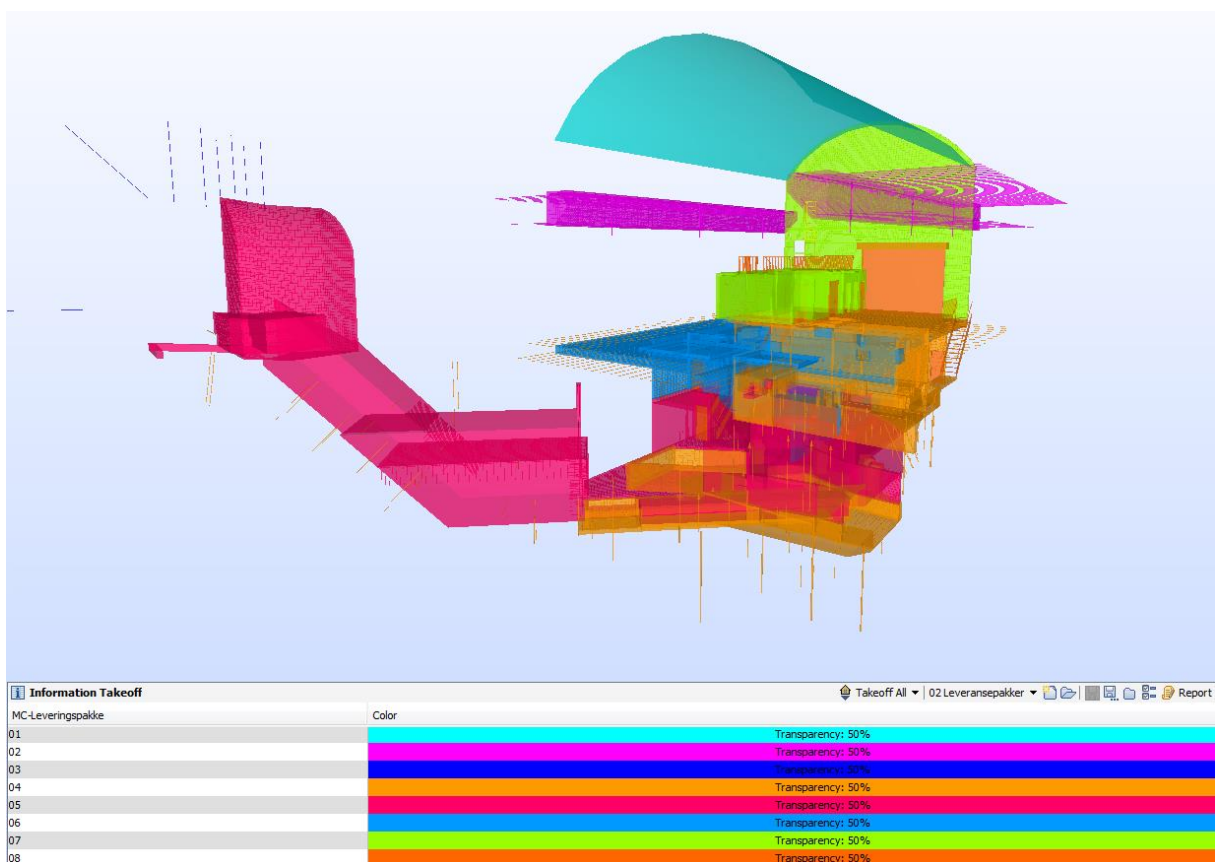
Kvalitetsstatus beskriver modenhetsgrad til hvert enkelt element i BIM-modellen, men samsvarer ikke nødvendigvis med en viss detaljeringsgrad. Status er ikke knyttet til hvor detaljert et objekt er fremstilt geometrisk. Detaljerings- og informasjonsgrad i modellen er utarbeidet på et nivå som er hensiktsmessig for denne konstruksjonen. Hva som er hensiktsmessig, defineres mellom utførende og prosjekterende i forkant av prosjekteringen. Som vi beskrev i teoridelen (se kapittel 2.3 for mer informasjon), kan et element ligge på et høyt detaljnivå allerede i en tidlig fase selv om elementet ikke har oppnådd status «som bygget» og ikke er forberedt for konstruksjon. Og omvendt, kan det finnes elementer uten tilstrekkelige geometriske detaljer, men med nødvendig informasjon for bygging.

#### 4.4.4 Bruk av kvalitets- og statusnivå for prosjektplanlegging og –styring.

##### Leveransepakker

Hver modell inndeles i leveransepakker basert på hensiktsmessige utførelsesrekkefølge, for eksempel støpeavsnitt. Dette gjøres for å strukturere utførelses- og prosjekteringsprosessen og fordele dens ressursbehov. I mindre konstruksjoner vil det ikke alltid være nødvendig med oppdeling i leveransepakker. Dette vil igjen definere noen milepæler for når elementer i en spesifikk leveransepakke må oppnå ulike statusnivåer iht. fasebeskrivelsen for prosjekteringen.

Modellens styringsnivå skal samsvare med oppdelingen i leveransepakker. Status i modellen settes per objekt, men status på en leveransepakke kan ikke endres før dette er gjeldende for samtlige av dennes tilhørende objekter.



Figur 16 BIM-modell delt opp i leveransepakker

#### 4.4.5 Kontroll og kvalitetssikring i prosjektet

Detaljprosjekteringsprosessen, hovedsakelig for byggetekniske arbeider, er i modellen oppdelt i følgende deler;

- Beregninger
- Geometri og sekvens
- Armering

- Informasjon

- Sluttprodukt

Innhold og rekkefølge, sett i sammenheng med den kontrollen som skal utføres av prosjekteringsarbeidet, er illustrert i utarbeidet flytskjema (se Vedlegg 5).

Prosjektering og behandling av alle elementer i modell skjer i konsekvente steg som er beskrevet tidligere i denne rapporten gjennom kvalitets og statusnivå (se kapitlene 4.4.3-4.4.4).

Mellom status S2 og S3 skal det utføres **tverrfaglig kontroll** som en koordinering mellom involverte fag i prosjekteringsprosessen. Koordineringen gjøres for å hindre unødvendige omstrukturering av forløp senere i prosjekteringsfasen, og for å oppnå færre feil under utførelse.

Modellene skal brukes til **kollisjonskontroll** i alle fagmodeller, i tillegg til samordnet kollisjonskontroll og koordinering mellom involverte fag. Formålet er bedre koordinering i prosjekteringsfasen og å oppnå færre feil på byggeplass.

Kollisjonskontroll er en digital kvalitetssikring av fagmodellene på objektnivå. Kontrollen finner feil i den tverrfaglige koordineringen før det bestilles og bygges. Den viktigste type feil, som kollisjonskontrollen brukes til å finne, er hvis to eller flere objekter sitter på samme plass i modellen.

Kollisjonskontrollerte fagmodeller gir et mye bedre grunnlag for å produsere. Under forutsetning at entreprenøren bygger disiplinert etter det produserte underlaget, kan det bygges med vesentlig færre feil funnet på byggeplassen. Det øker effektivitet i bygging og kvalitet på ferdig resultat.

Kollisjonskontroll kan brukes i tidlig fase prosjektering til å sjekke hovedføringer mot overordnet geometri i bygget. I detaljfase brukes prosessen til å kvalitetssikre på detaljnivå. Prosessen kan f.eks. gjøres til en fast sak i prosjekteringsmøter med sideentrepriser for å sikre at alle fagene er geometrisk koordinert.

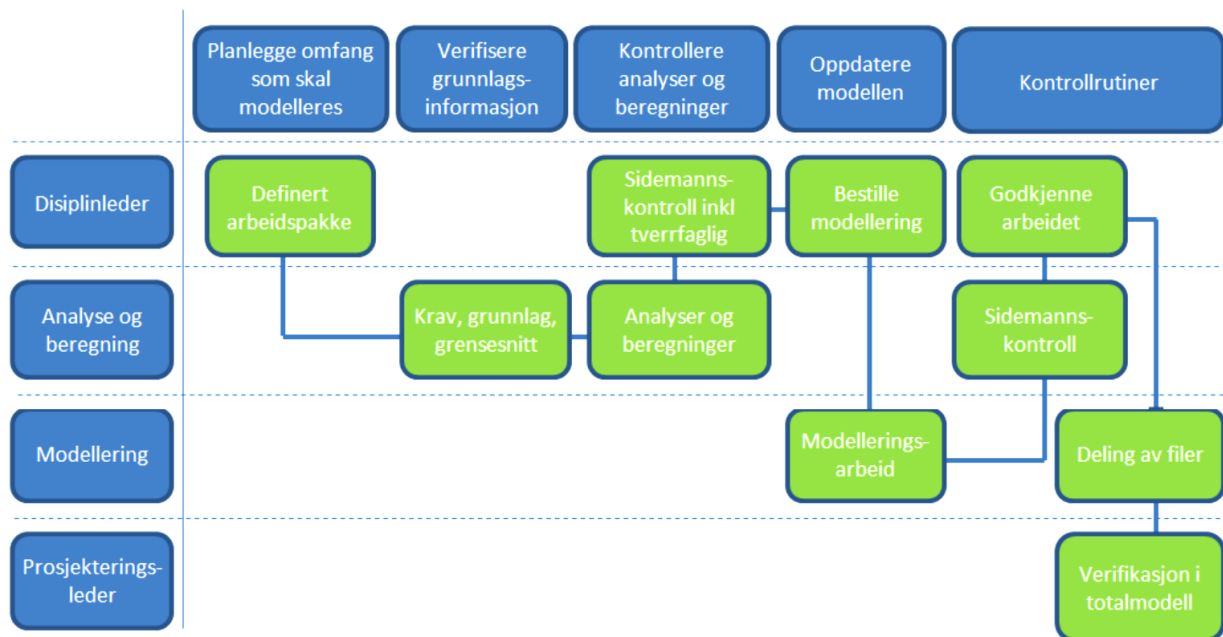
Intervall for utveksling av fagmodeller må avtales, og kollisjonskontroll utføres av BIM-Koordinator eller fagets BIM-ansvarlig.

Ved overgang til kvalitetsnivå S4 skal følgende kontroller utføres:

- **Egenkontroll**
- **Sidemannskontroll**
- **Godkjenning**

Grunnlaget for kontrollprosedyrer er generelle interne rutiner utviklet i Multiconsult for kvalitetssikring. Men de tilpasses også modellbasert prosjektering (se Vedlegg 6).

Figuren under viser prosess for kontroll i modell utviklet i oppdraget på Smisto;



Figur 17 Overordnet prosessbeskrivelse for kontroll i modell

Det utføres en kontroll pr. del. Kontrollen er definert som følger (eksempel er for RIB-disiplin);

Tabell 6 KONTROLL I DETALIPROSJEKTERINGSPROSESSEN

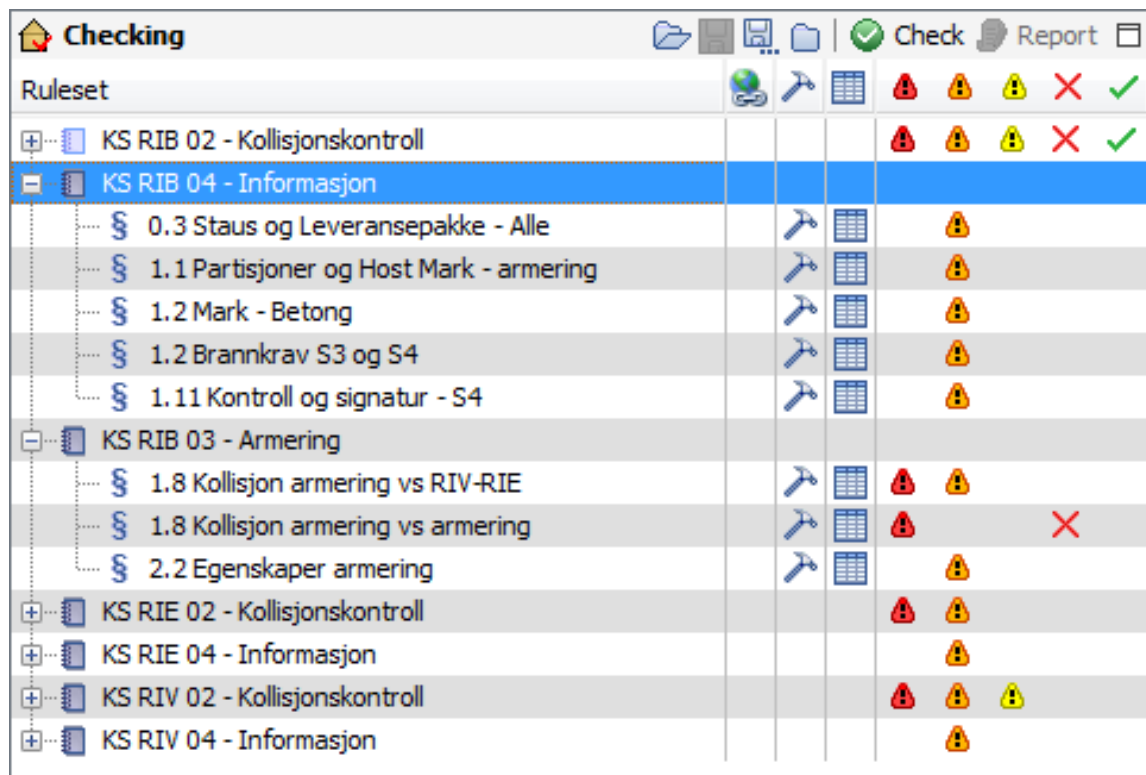
NR.	Navn	Beskrivelse	Produkt	Sjekkliste
<b>KS RIB.01</b>	Beregninger	Kontroll av beregninger og beregningsnotat	Rødmerket kontrollkopi	KS RIB.01
<b>KS RIB.02</b>	Geometri (form) og sekvens	Geometri-, kollisjons- og sekvenskontroll i Solibri	BCF	KS RIB.02
<b>KS RIB.03</b>	Armering	1. Armering, fjellbolter, skjøtejernskassett, m.m. i Solibri. 2. Bøyelister tas fra Solibri.	1. BCF 2. Rødmerket kontrollkopi	KS RIB.03
<b>KS RIB.04</b>	Informasjon	Informasjonskontroll ved Schedules i Revit	Rødmerket kontrollkopi	KS RIB.04
<b>KS RIB.05</b>	Sluttprodukt	1. Modellvisninger i Solibri 2. Lister (Excel/PDF)	1. BCF 2. Rødmerket kontrollkopi	KS RIB.05

Som det står i kapittel 2.4 om Kontroll og kvalitetssikring, er det veldig viktig med utarbeidelse av relevante og detaljerte sjekklister. Sjekklister KS RIB.01-05 var utviklet for Smisto prosjektet. Foreløpig finnes det kun sjekklister for modeller fra RIB. Lignende sjekklister for kontroll av RIV og RIE modeller er under utvikling.



Kontrollskjemaer for de ulike kontrollene, så vel som sjekklister for statusnivå i modell ligger tilgjengelig i Excel-fil som brukes ved ulike kontroller ved siden av modellen i Solibri.

Noen av punktene i Excel-filen er implementert i modellen. De er opprettet som regelsjekkene i Solibri. Det betyr at kontrollsjekk er automatisert der det er mulig, og kontrollen kjøres automatisk i Solibri.



Figur 18 Liste med regelsjekk fra Solibri

Figuren over viser en liste med forskjellige regelsjekk som BIM-koordinator opprettet i Solibri. De har samme navn som steg i detaljprosjektering og sjekker modeller fra ulike fag. For eksempel, regelsjekk KS RIB 04 – Informasjon tilsvarende fjerde steg i prosessen av detaljprosjektering (se Tabell 6) og sjekker RIB-modell.

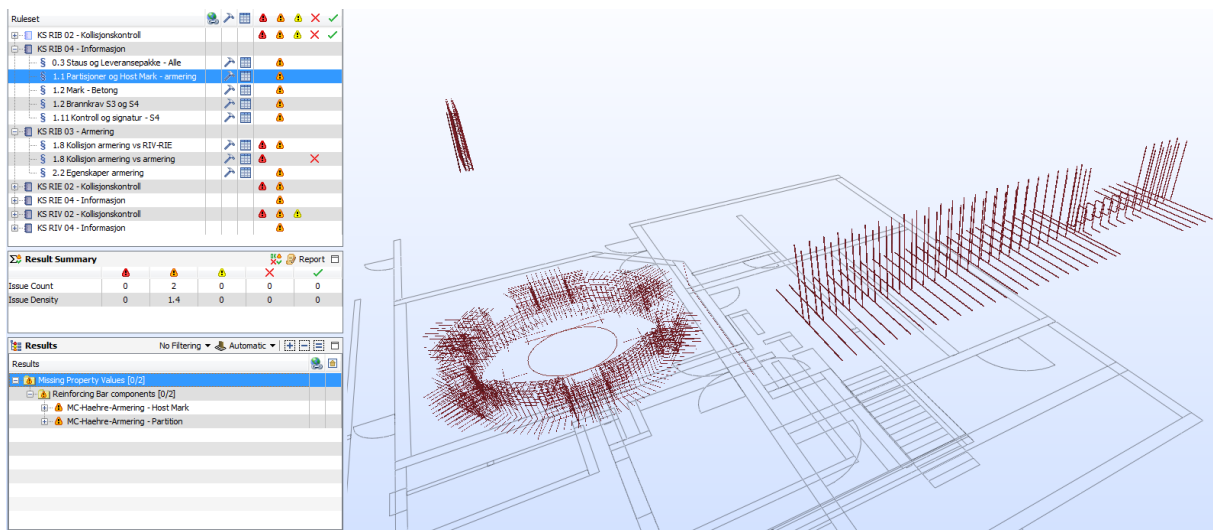
Hvert regelsjekk kan inneholde flere punkter og tall foran som henviser til punkt i Excel sjekklister.

For eksempel, regel «1.1 Partisjoner og Host Mark – armering» fra KS RIB 04 - Informasjon henviser til følgende krav i Excel:

Nr	Kontrollpunkter	Egenkontroll	Sidemannskontroll
<b>1 Informasjon på elementnivå</b>			
1.1	Partisjon og Host Mark utfyllt		

Figur 19 Kontrollpunkt fra sjekklister i excel KS RIB.04

Tilsvarende regelsjekk i Solibri skal sikre at alle armeringsjern har egenskaper for Partisjon og Host Mark utfyllt. Hvis det finnes noen jern uten denne informasjonen, vil programmet vise det:



Figur 20 Solibri lister opp modellelementer som ikke tilsvarer krav fra et regelsjekk

Som vist i Tabell 6, skal produkt med tilhørende sjekklister for hvert kontrollsteg legges i relevant mappe for aktuell leveransepakke i et dokumenthåndteringssystem brukt i Multiconsult og skal oppbevares i forhold til krav til å beholde dokumentasjon i 10 år etter ferdigstillelse. Navngivning skal henvise til modellnummer, leveransepakke og kontrollsteg.

- For produkt BCF;

Kommentarer fra egen- og sidemannskontroll legges inn i visning. Eksportert BCF-fil lagres for å dokumentere kontroll av prosjekterings- og arbeidsunderlag.

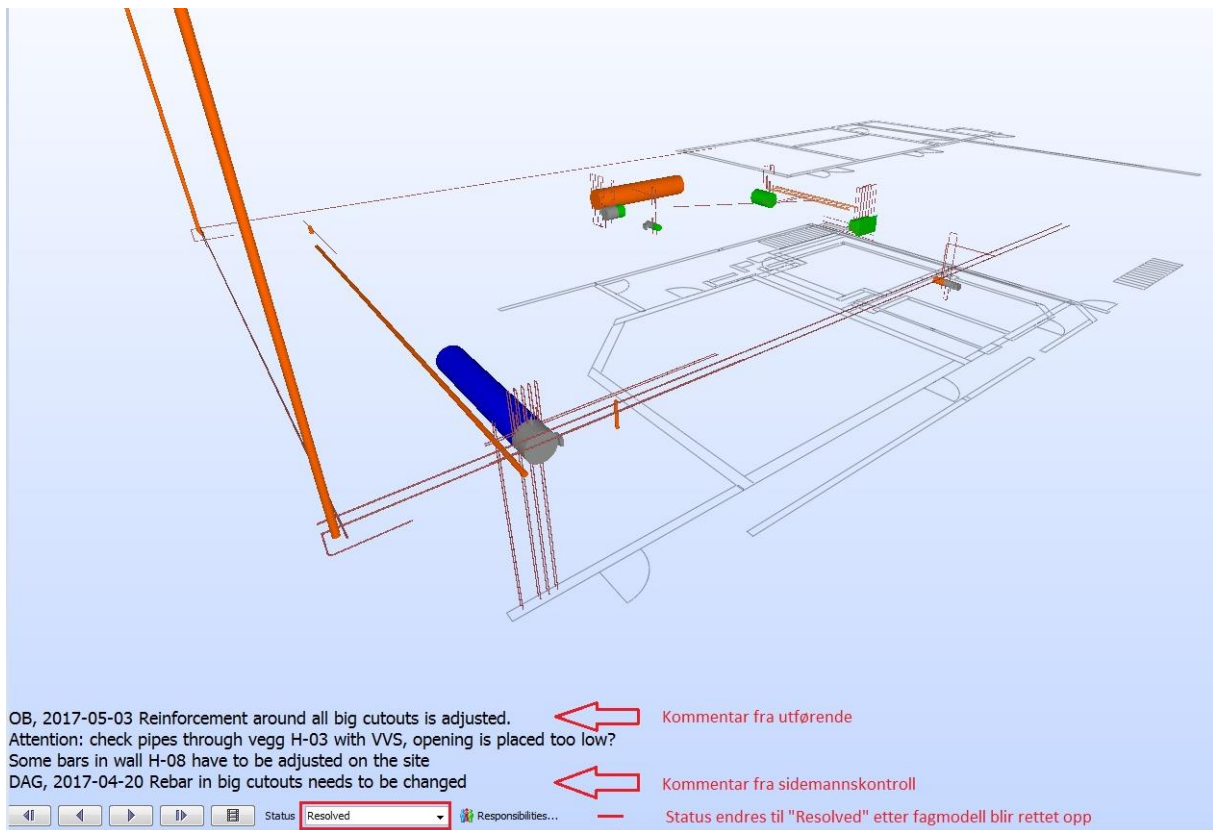
- For produkt Rødmerket kontrollkopi;

Kommentarer noteres på en kontrollkopi av skjermbilde.

Følgende fargekoder skal som hovedregel benyttes ved kontroll:

- Rød farge: Feil eller mangel i modellen. Korreksjon påføres med rød penn.
- Gul farge: Korrekt, sjekket informasjon.
- Blå farge: Kommentarer.

Neste figur viser et eksempel på kommunikasjon mellom ansvarlig for sidemannskontroll og utførende. Den er en visning fra BCF rapport i Solibri hvor faglig relevant person involvert i prosjektet, har gjort sidemannskontroll og lagt inn kommentar for utførende. Feil funnet under sidemannskontroll rettes opp i fagmodellen, utførende legger inn en ny kommentar som et svar på kommentar fra sidemann og endrer status til «Resolved» i BCF rapporten.



Figur 21 En visning fra BCF-rapport i Solibri med kommentarer fra ansvarlig for sidemannskontroll og utførende

#### 4.4.6 Eksport til arbeidsunderlag fra fagmodell

Rutiner for eksport til arbeidsunderlag er forskjellige avhengig av hvilket prosjekteringsverktøy som brukes;



Figur 22 Inndeling av eksport til arbeidsunderlag

## Arbeidsunderlag fra prosjekteringsverktøy Civil 3D

Det vil først og fremst være tunnelsystem, tunneler og sjakter, som prosjekteres i Civil 3D. Dette eksporteres i dwg-format med følgende informasjon;

Tabell 7 INFORMASJON FRA CIVIL3D

<b>MC-Status</b>	Elementets gjeldende statusnivå som tidligere beskrevet. Defineres i lagnavn.
<b>Senterlinje</b>	Tunnelens/sjakten senterlinje, med horisontal og vertikal bestemmelse
<b>Min. tverrsnitt</b>	Minimumstverrsnitt på tunnel/sjakt

## Arbeidsunderlag fra prosjekteringsverktøy Revit

Fra fagmodeller i Revit eksporteres informasjon via IFC-format til tverrfaglige modeller i Solibri og direkte til dwg for elementer som definert under;

- Fjellrom
- Betong
- Skjøtejernkassett
- Fallangivelser
- Armering
- Fjellbolter
- Innstøpningsgods
- Jordingsspyd
- Jorningsoppstikk

For eksport av dwg fra Revit fagmodeller, deles eksporten opp i følgende separate modeller, spesifikke for hver leveransepakke;

Tabell 8 DWG-EKSPORT FOR ARBEIDSUNDERLAG FRA REVIT

Fjellrom/utsprengt volum	Betong	Fjellbolter	Jording
Volum	Betong	Fjellbolter	Jordingsspyd
Nedre flate (hvis aktuelt)	Fallangivelser		Jorningsoppstikk

### 4.4.7 Informasjon og arbeidsunderlag i tverrfaglig modell

#### *Informasjon på elementer*

Ved eksport av fagmodeller til tverrfaglige modeller i Solibri, skal elementer inneha informasjon som angitt i det følgende.

Følgende generelle parametere skal defineres for alle elementer med statusnivå «S4» og ta hensyn til i utførelsen;

Tabell 9 GENERELL INFORMASJON FOR ALLE ELEMENTER PROSJEKTERT I TVERRFAGLIG MODELL

<b>MC-Status</b>	Elementets gjeldende statusnivå som tidligere beskrevet.
<b>MC-Status dato:</b>	Dato for fastsettelse av elementets gjeldende status
<b>MC-Status dato (KUN S4):</b>	Dokumentasjon av dato for første utsendelse av nivå S4
<b>MC-Leveringspakke:</b>	Angivelse av hvilken leveransepakke hvert element tilhører
<b>MC-Status – Utført:</b>	Initialer for person som har utført prosjektering av elementet og angitt gjeldende status
<b>MC-Status – Kontrollert:</b>	Initialer for person som har kontrollert prosjektering av elementet og angitt status.
<b>MC-Status – Godkjent:</b>	Initialer for person som har godkjent gjeldende status av elementet. Utføres av MCs oppdragsleder eller annen person denne utpeker
<b>MC-Revisjon (S4):</b>	Angivelse av eventuell revisjon av element der status S4 tidligere er oversendt. Ikke relevant for andre statusnivåer og markeres «0» inntil videre angivelse følger system «A», «B», osv.
<b>MC-Bestemmelser</b>	Gjeldende bestemmelser for utførelsen av elementet
<b>MC-Forklaring</b>	Forklarende tekst til for utførelsen av elementet
<b>MC-Brannkrav</b>	Gjeldende brannkrav til element (hvis aktuelt)
<b>Type</b>	Type element
<b>Material</b>	Angivelse av prosjektert materialtype
<b>Kontrolldok.</b>	Link til kontrolldokumentasjon på prosjekthotell fra utførelsen på anlegget (kun relevant for S5)

Alle informasjonsparametere vil fremgå pr. element i Solibri.

Et egenskapssett (Property Set) fremgår i Solibri som en fane, heretter omtale som «Informasjonsfane». I tillegg til standard informasjonsfaner, er følgende spesifikke informasjonsfaner definert for prosjektet;

Tabell 10 INFORMASJONSFANER I SOLIBRI FOR ELEMENTER

<b>MC-Haehre-Info</b>	Fane med generell informasjon for alle elementer. I tillegg spesifikk informasjon for betongelementer, fjellbolter, m.m.
<b>MC-Haehre-Armering</b>	Fane med spesifikk informasjon for armeringsjern
<b>MC-Haehre-Skjoetejernskasset</b>	Fane med spesifikk informasjon for skjøtejernkassetter

Parametere som ikke er definert vil ikke fremvises i tverrfaglig modell. Avhengig av elementtype og utviklingsnivå, vil følgende parametere kunne være tilgjengelig i de tre typene informasjonsfaner;

Tabell 11 PARAMETERE SOM SORTERES PER INFORMASJONSFANE

MC-Haehre-Info	MC-Haehre-Armering	MC-Haehre-Skjoetejernskasset
MC-Leveringspakke	Type	Type
MC-Status	Material	Bredde boyler
MC-Status dato	Partition	CC-boyler
MC-Status dato (KUN S4)	Host Mark	Dimensjon armering
MC-Status - Kontrollert	Rebar Number	Kassebredde
MC-Status - Konstr.	Bar Diameter	Uttrekkslengde
MC-Status - Godkjent	Bar Length	Kasselengde
MC-Revisjon (S4)	Quantity	Mark
MC-Bestemmelser	Shapecode	
MC-Forklaring	Total Bar Length	
MC-Brannkrav	Hook 1	
Vinkel	Hook 2	
Count	a	
Actual Number of Risers	b	
Actual Riser Height	c	
Actual Tread Depth	d	
Top Level	e	
Base Level	f	
Length	H	
Type	Angle 1	
Type Name	Spacing	
Family Name	Bend Diameter	
Mark	MC-Bestemmelse	
Diameter		
DybdeFjell		
DybdeBetong		
Dybde betong skrå del		
Material		

### *Betong ID*

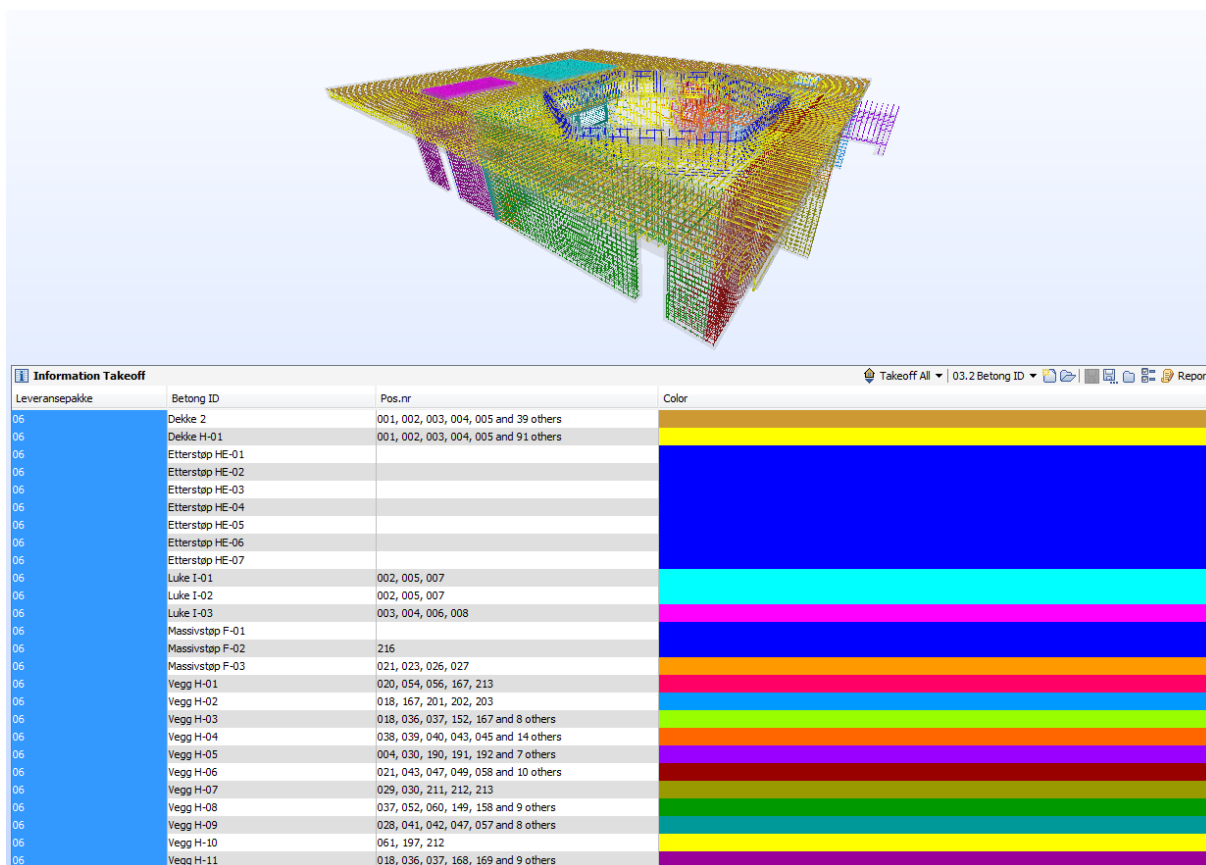
Alle ferdig prosjekterte betongelementer navngis ved informasjonsparameter «Mark».

Alle elementer relevant for utførelsen av et betongelement; armering, skjøtejernskasset, fallangivelse, innstøpingsgods m.m. vil tilegnes den samme verdi i feltet «Mark»/«Host Mark».

I tverrfaglig modell sorteres hvert betongelement sammen med tilhørende elementer (armering, skjøtejernkassett, fallangivelse, innstøpingsgods m.m.) under angivelsen «Betong ID».

Under fanen «Information Takeoff» - «Classification», kan alle definerte Betong ID fremvises.

Neste bildet viser modell hvor elementer fargelegges med hensyn til parameter «Mark» (betong vises gjennomsiktig).



Figur 23 Takeoff Betong-ID for leveransepakke L06

### Sortering av informasjon i ITO

For opplisting og visuell visning av sortert/selektert informasjon i Solibri defineres flere typer ITO'er («Information Takeoff») for prosjektet. ITO gjør informasjon lett tilgjengelig og visuell. Det lar sortere data på ulike måter og tilpasse uttak av data til prosjektets behov.

Neste tabell lister opp noen av dem.

Tabell 12 UTVALG AV ITO'ER DEFINERT FOR SMISTO PROSJEKTET FOR OPPLISTING OG VISUELL VISNING

<b>01 Status</b>	Prosjekteringsstatus som definert
<b>01.2 Revisjon av S4</b>	Visuell presentasjon av eventuelle revisjoner av element der status S4 tidligere er oversendt. - Alle elementer som ikke er revidert markeres grått - Reviderte elementer markeres med tydelige farger
<b>02 Leveransepakker</b>	Fargesortering av alle elementer i tilhørende leveransepakke
<b>03.1 Betongkonstruksjoner</b>	Sortering av alle betongkonstruksjoner (ikke andre typer elementer), inkludert angivelse av areal og volum
<b>03.2 Betong ID</b>	Fargesortering av betongelementer sammen med tilhørende elementer (armering, skjøtejernkassett, fallangivelse, innstøpingsgoods m.m.) som beskrevet
<b>04.1 Armering oversikt</b>	Oversikt over all prosjektert armering i modellen
<b>04.2 Bøyeliste</b>	Armering med faste lengder
<b>04.3 Bøyeliste LM</b>	Løpemetearmering
<b>04.4 Armering diameter</b>	Fargevisning av ulik armeringsdiameter
<b>04.5 Skjøtejernkassett</b>	Skjøtejernkassett
<b>04.6 Innstøpingsgoods</b>	
<b>05.1 Hovedføringer teknisk</b>	Hovedføringer VVS og huselektro
<b>05.2 VVS</b>	Alle VVS komponenter
<b>05.3 Huselektro</b>	Alle huselektro komponenter
<b>05.4 Trapper</b>	Liste og visning over trapper i modell
<b>05.5 Dører</b>	Alle dører i modell
<b>05.6 Rekkverk</b>	Alle rekkverk i modell
<b>05.7 Brannseksjonering</b>	
<b>06 El/mek</b>	Alle el/mek komponenter, sortert pr. montasjesekvens
<b>07 Stikningspunkter</b>	Stikningspunkter for utsetting på anlegget, relatert til Betong ID. Med koordinater

I modeller der enkelte av oppsettene ikke er relevante vil de ikke vises.

For enkelte modeller kan det i tillegg utarbeides spesifikke ITO'er der dette er hensiktsmessig for sortering av relevant informasjon.

#### *Arbeidsunderlag*

Modellen med informasjon er gjeldende arbeidsunderlag, inkl. detaljer, utsparinger, innstøpingsgoods m.m.

For ferdig prosjektert leveransepakke vil følgende i tillegg utarbeides for å forenkle entreprenørens uthenting av informasjon;



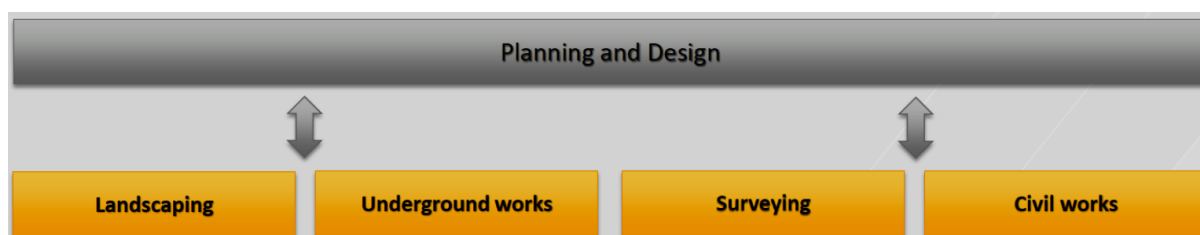
Tabell 13 SORTERT INFORMASJON FRA MODELL FOR ARBEIDSUNDERLAG

<b>Modellvisninger</b>	PDF-dokument med illustrasjon av; - Hovedprinsipper støpetapper - Markering av eventuelle detaljer og innstøpingsgods med stor viktighet. - Hoveddimensjoner markeres, men ikke alle detaljer. Tilgjengelig i «Communication» i Solibri-modellen for navigering. → Modellvisninger er sortert informasjon fra modellen. Ved navigering kan andre elementer enn det markerte i visningen være utelatt
<b>Bøyeliste</b>	Bøyeliste for armering med faste lengder i Excel/PDF format. Tilsvarende som tilgjengelig i modell i presentert ITO
<b>Bøyeliste LM</b>	Bøyeliste for løpemeterarmering i Excel/PDF format. Tilsvarende som tilgjengelig i modell i presentert ITO
<b>Skjøtejernkasset</b>	«Bøyeliste» for prosjekterte skjøtejernkassetter i Excel/PDF format. Tilsvarende som tilgjengelig i modell i presentert ITO
<b>Fjellbolter</b>	«Bøyeliste» for prosjekterte fjellbolter. Tilsvarende som tilgjengelig i modell i presentert ITO
<b>Relasjon betong armering</b>	Liste med angivelse av hvilke pos. nr. i bøyeliste som er tilegnet de ulike betongelementer (Betong ID)
<b>Relasjon betong skjøtejernkasset</b>	Liste med angivelse av type og antall skjøtejernkassetter som er tilegnet ulike betongelementer (Betong ID)

#### 4.4.8 Tilpasning av prosjekteringsgrunnlag i forhold til utførelse

Modeller utarbeides og koordineres slik at riktig informasjon kan nå både entreprenørens prosjektledelse og arbeidere på byggeplass. Med moderne utstyr på byggeplass, samt utstyr for maskinkontroll og oppmåling, er 2D tegninger ikke lenger den mest effektive måten å formidle prosjekteringsgrunnlag til utførelse. Det krever utarbeidelse av forskjellige metoder med ulike egenskapene i prosjektet med hensyn til ulike programvarer og planlagte metoder for utførelse:

- Modeller forberedt for tunneler, landskapsarbeider og graving der maskinstyring er sentral for utførelse
- Modeller for betongarbeider, armering og andre installasjoner for kraftverk med behov for detaljert geometrisk kontroll og monteringsprosedyrer.



Figur 24 Forenklet modellstruktur

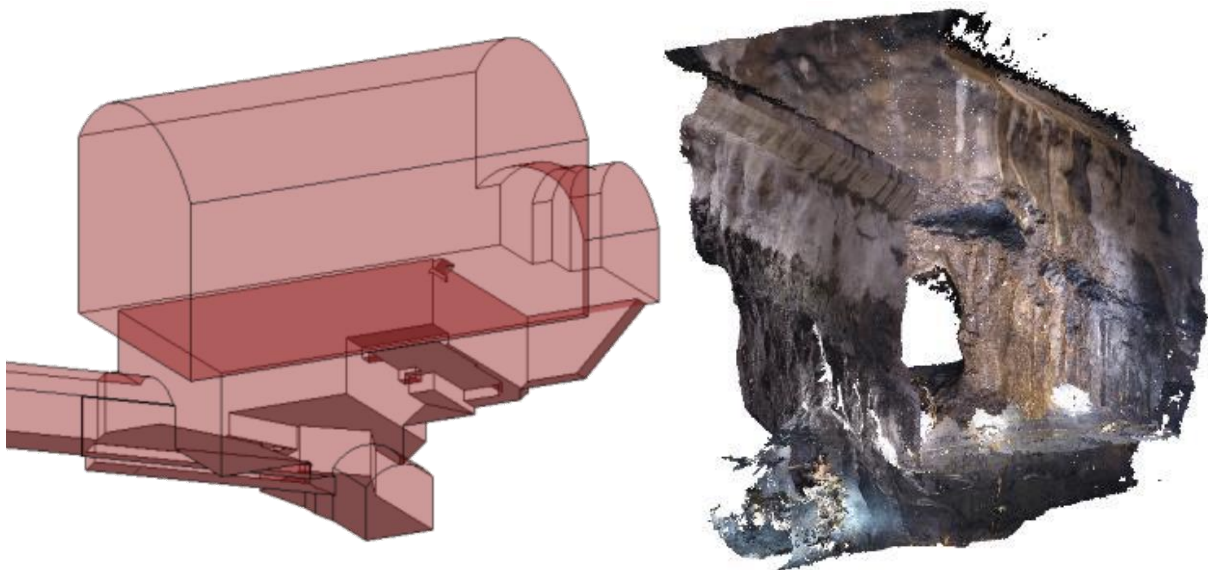
Når det ikke er påkrevd med tildeling av mer enn et eierskap i tillegg til geometri, brukes Civil 3D for prosjektering av følgende objekter i prosjektet:

- Sjakter og tunnelarbeider; definere senterlinje og tverrsnitt som trengs for entreprenør for å forberede borreplaner.
- Landskapsarbeider; definere form og barrierer.

Autodesk Revit er brukt for prosjektering av alle andre objekter i prosjektet. Programvaren er valgt fordi den legger til rette for tildeling av egenskaper til 3D-objekter. Revit benyttes for utformingen av følgende hovedobjekter;

Underjordiske arbeider:

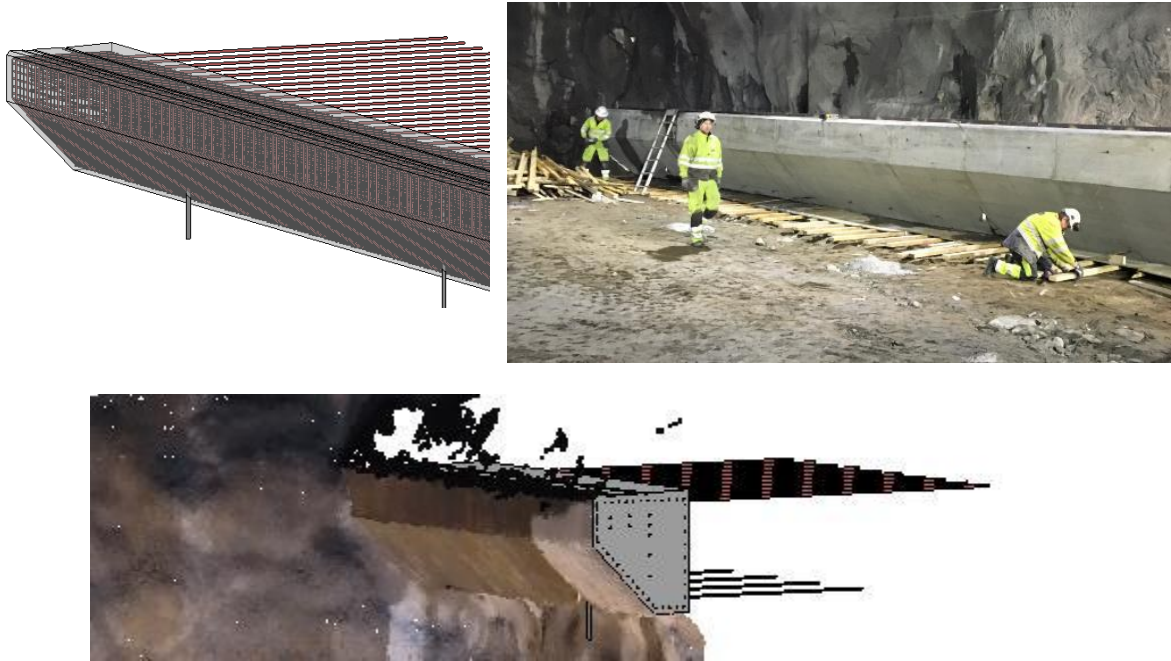
- Bergrom og borrekaks; definere volum av sprengning og minimale ytre grenser for å legge til rette for utarbeidelse av borreplaner.
- Fjellbolter; definere dybde, plassering, orientering og dimensjonering av bolter og krav til gjennomføring av de samme.



*Figur 25 Revit modell og oppmåling etter utgraving for kraftverk*

Alle andre bygningsmessige arbeider inkludert:

- Betong og armering, inkludert innstøpningsgods, blokkeringer osv.
- Tekniske installasjoner som jording, lette elektriske installasjoner, ventilasjon og sanitære anlegg.



*Figur 26 BIM modell, gjennomføring og kontroll av geometri for betong kranbjelke*

Direkte dataflyt gjennom modeller danner grunnlag for kommunikasjon av design, inkludert prosjekteringsmøter. I tillegg, brukes utsnitt fra 3D modellen for å utveksle informasjon om kollisjoner, markere dem og sende spørsmål til andre partene gjennom BCF-rapporter.

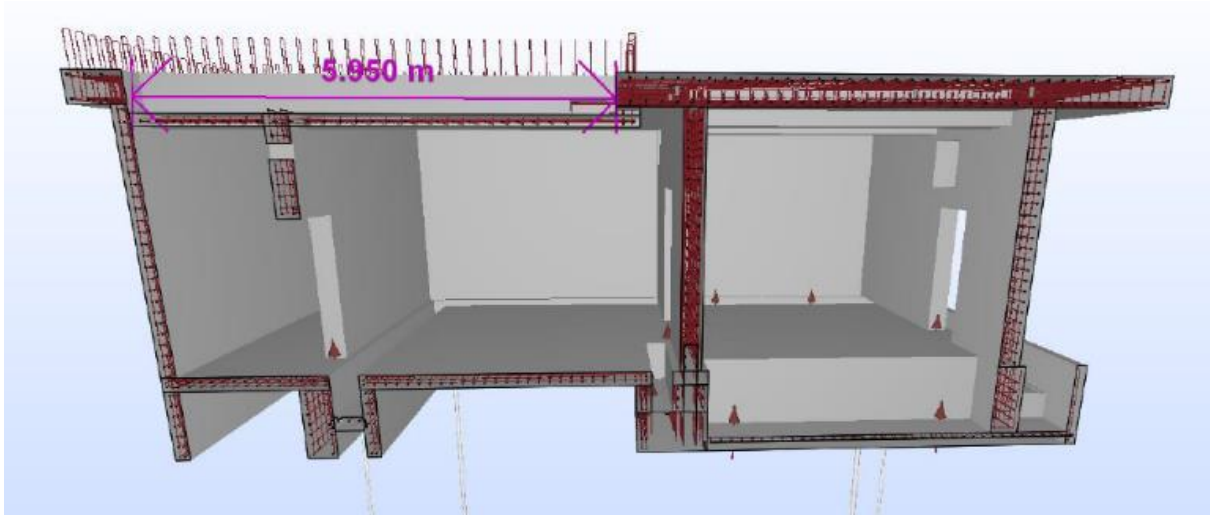
#### 4.4.9 Prosjekteringsgrunnlag for betongarbeider

Alle elementene for gjennomføring av betongarbeider er modellert i forhold til planlagt støpningssekvens, inkludert konstruksjonsledd. Dette gir et nøyaktig grunnlag for prosjekteringen som for eksempel konstruksjonsberegninger, korrekt lengde på armeringsjern og skjøter. Det kan anses som en ekstra fordel for entreprenør at modellen gir muligheter for planlegging av bygging og bestilling i tidlig fase.

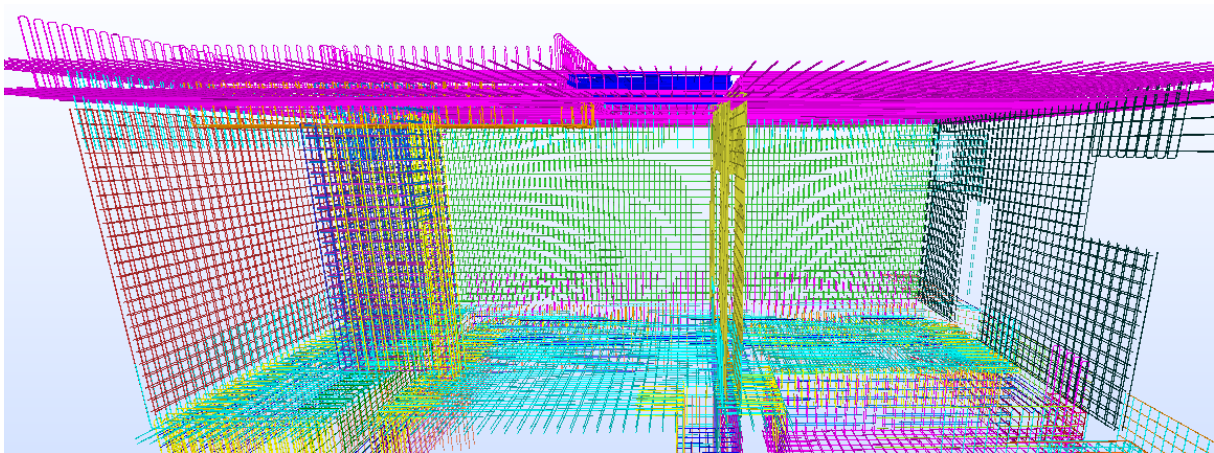
For betongarbeider er hele prosjekteringsgrunnlaget implementert i samhandlingsmodellen for RIB. For å tilrettelegge for innhenting av informasjon fra modellen og øke tilgjengeligheten, kan data sorteres i modellen på forskjellige måter. Følgende uttak av data fra modellen finnes:

- Et kombinert sett med 3D utsnitt fra modellen for hver byggesekvens. Visninger presenterer planlagte deler av prosessen og fremhever delene som eventuelt kan kreve spesielle tiltak, for eksempel blokkeringer og innebygde deler.
- Bøyelister

- Relasjon mellom betongelement ID og armeringsjern. Armering (og andre relevante detaljer som for eksempel helling av gull, innstøpningsgods) får tildelt betongelements-ID. Det skapes en relasjon mellom betongobjekt og objektene (armering og innstøpningsgods) som tilhører betongobjektet.



Figur 27 Eksempler på utsnitt tatt fra BIM-modell for utførelse av betongarbeider



Figur 28 Sortert på farge armeringsjern som får host-ID fra betongelementer

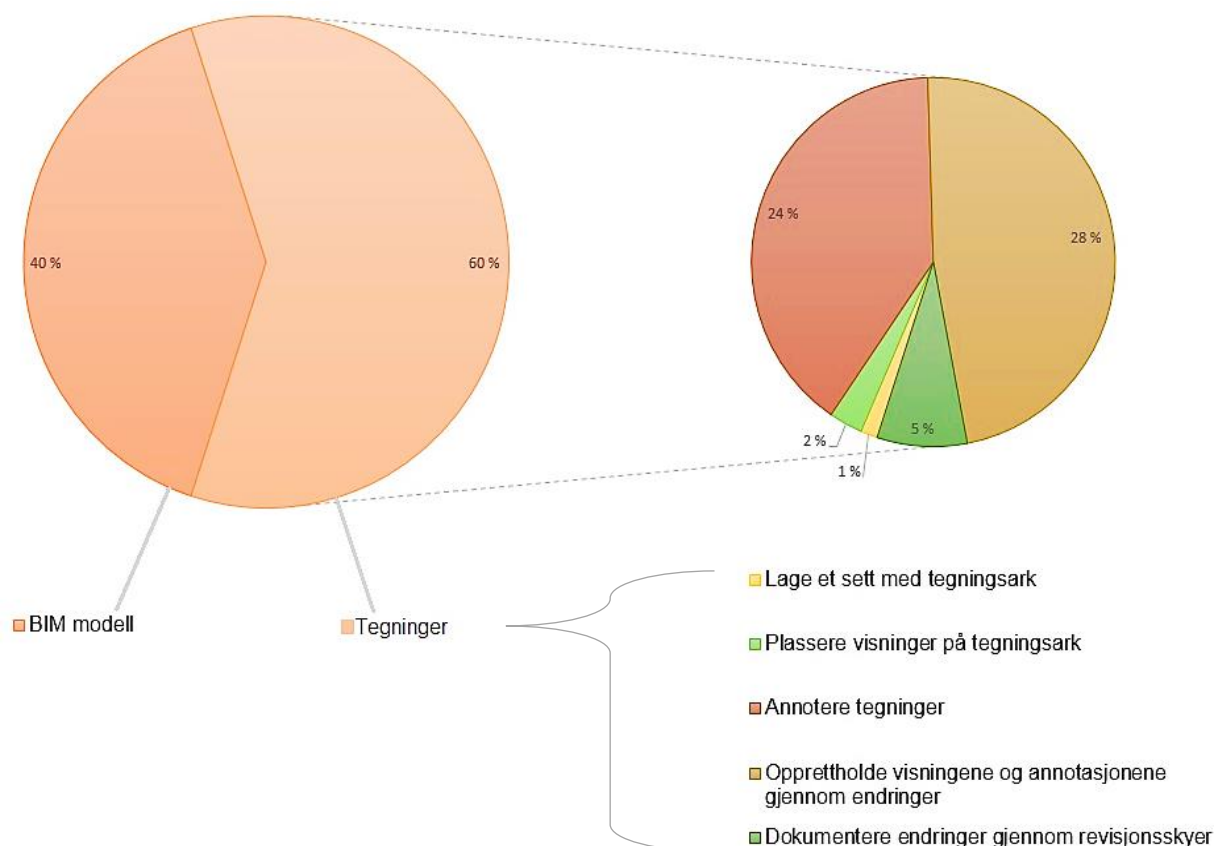
## 5 Diskusjon og drøfting av resultatene

### 5.1 Effekter ved bruk av ny metode for modellbasert bygging uten tegninger

#### Tids- og kostnadsbesparelser

Manglende empiri gjør en estimering av en positiv effekt av tegningsfri modellbasert bygging vanskelig. Det er også vanskelig å vite hvordan tegningsløs prosjektering og utførelse har påvirket resultater i prosjektet. Siden Smisto og Vamma kraftverk er de første prosjektene som bygges uten tegninger, finnes det ikke statistikk fra andre prosjekter, og det er altfor tidlig å oppsummere tall fra overnevnte prosjekter fordi prosjektene ikke er avsluttet. Vi kan gjøre noen antagelser basert på erfaringsmessig tidsfordeling i byggeprosjekt. Det man må påpeke, er at man vanligvis bruker hundrevis av timer per prosjekt for å lage 2D tegninger ut fra en 3D modell eller fra scratch.

Neste figur viser prosentfordeling av tid brukt for å produsere BIM-modell og tegninger under detaljprosjektering. Førsti prosent av tid brukes for å lage BIM modell med all geometri og informasjon mens seksti prosent av tid trenges for å lage og vedlikeholde alle tegninger.



Figur 29 Tidsfordeling ved produksjon av BIM-modell og tegninger i detaljfase (Kensek, 2014)

Det betyr at eliminering av tegninger kan resultere i betydelig ressursbesparelser for prosjekter.

Kelly Cone, VDC Direktør i Beck Group, forsøker å estimere besparelse av ressurser i et delvis tegningsløs byggeprosjekt ved reduksjon av tegninger (Cone, 2015):

Med fokus bare på detaljprosjektering

- Ved behov for totalt 169 tegningsark
- 71 annoterte tegningsark ble levert
- 98 tegningsark ble fjernet
- 58% reduksjon i annoterte tegningsark
- Cirka 1250 to 1470 timer spart
- Ved å anta en gjennomsnittlig timepris på \$57.35/time tilsvarer det \$71,687 og \$84,304 besparelse i pris
- Potensielt vil det føre til 50% høyere bruttoresultat (15% til 22.25% for nettoresultat)

Men det hadde vært en veldig forenklet metode å beregne kostnadsbesparelser ved å multiplisere antall timer satt for tegningsproduksjon med timepris. (ikke helt tydelig hva du mener her)

«Vi har et estimat som forteller vi unngår å levere ca. 500 tegninger, noe som reduserte tidsforbruket vår betraktelig. Man kan da stille spørsmål ved om tidsforbruket var redusert fordi modellen var såpass detaljert og god at den kunne brukes som produksjonsunderlag. Men jeg er ganske sikker på at vi sparte tid» - forklarer Magne Ganz, BIM-koordinator på Smisto prosjektet.

«Det må tenkes at når man leverer en vanlig arbeidstegning, består den av en viss mengde geometri pluss annen informasjon, samt merknader og tittelfelt. Det kunne vi ikke levere i vårt tilfelle» - fortsetter Magne. «Vi måtte finne en vist sett med egenskaper som viser status og annen informasjon i modellen. En annet ting som du finner på arbeidstegninger er revisjoner som viser om den er en ny versjon av modellen, om det er justert noe. Så dette måtte vi også tenke på. Dessuten er merknadsfeltet på tegninger hvor det fremgår toleranser, materialkvalitet. Alt dette må legges som informasjon på objekter, og det krever tid, mer enn det trenges for modellproduksjon i konvensjonelle prosjekter med 2D tegninger. Så i sum skal du ha samme informasjon som fremgår fra arbeidstegninger, men denne informasjon må komme fra modellen» (Ganz, 2017).

For prosjekteringsgruppen på Smisto var det viktig å lage en BIM-modell god nok til å være et arbeidsunderlag, men samtidig ikke bruke altfor mye tid på modellering av en

kompleks geometri med alle 3D-detalljer og parametrisering av modellen. De klarte å finne en balanse og støttet 3D geometri med 2D styrende notater som entreprenør måtte forholde seg til. I tillegg var det lagt til noen kommentarer. Både styrende notater og kommentarer var lagret som objektparametere.

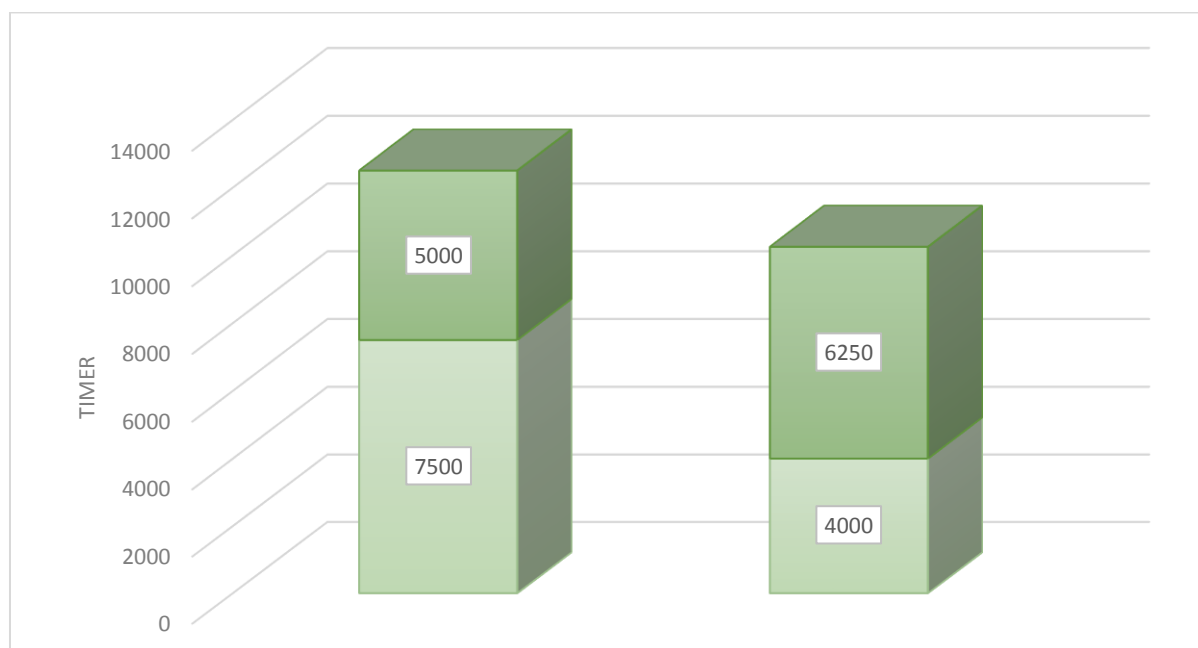
Det må også tas hensyn til at det var brukt tid til utvikling og implementering av metode for tegningsløs prosjektering og utførelse fordi det var et av første tegningsløse prosjekter både i Norge og internasjonalt.

«Vi hadde ingen referanser å forholde oss til. Vi måtte underveis selv utvikle en ny metode og implementere det i prosjektet» - sier prosjektleder på Smisto, Herman Smith.

Det betyr at gevinsten oppnådd ved besparelsen av timer, kan beregnes ut som forskjell mellom tid som hadde vært brukt for modell- og tegningsproduksjon ved vanlig prosjektering og summen av tid brukt for utvikling av metoden for prosjekt som skal bygges uten tegninger og modellering inkludert ekstra innsats som kreves for å lage mer funksjonell BIM modell med all informasjon.(må deles litt opp og skrives om)

Tabell 14 TIMEBUDSJETT I ET KONVENSJONELT PROSJEKT OG SMISTO

Konvensjonell prosjekt med 2D tegninger	Timer	Timer	Pilot tegningsløs prosjekt
		4000	Utvikling og implementering av en ny metode
Lage BIM modell	5000	6250	Lage BIM modell
Tegningsproduksjon	7500		



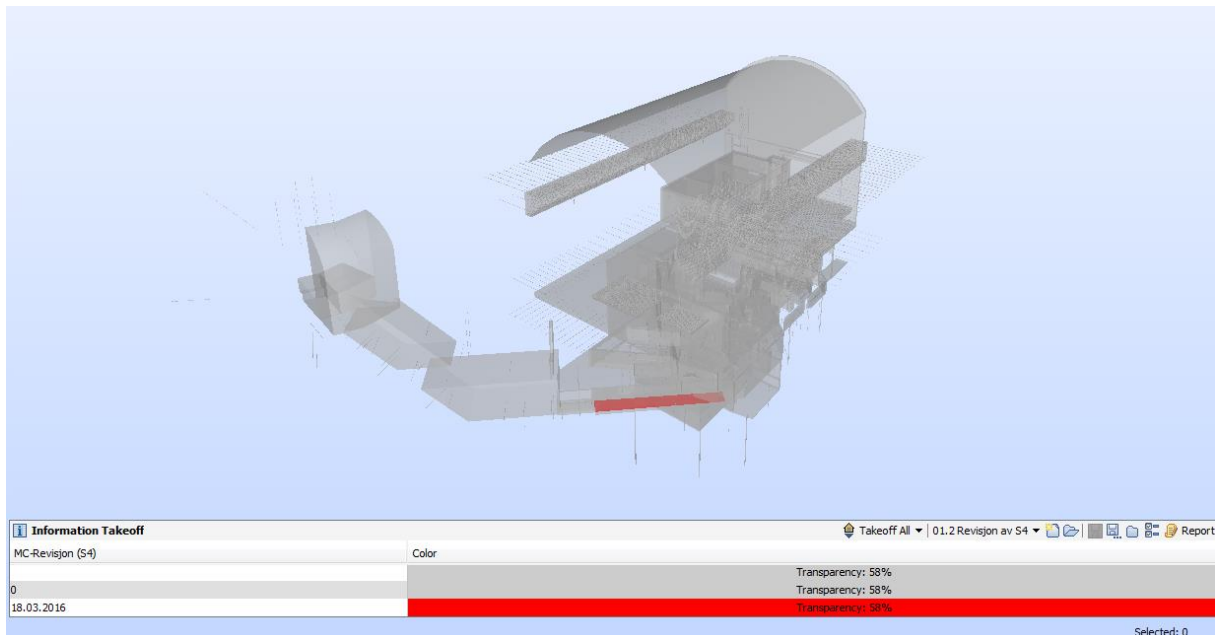
Figur 30 Forskjell i timer mellom vanlig og tegningsløst prosjekt

Når rutinene er utarbeidet, oppsummeres de til en overordnet metode som kan tilpasses til flere typer prosjekter. Videre tilføyes det at antall timer som trenges for implementering av metoden og opplæring av personale reduseres dermed betydelig. Det vil resultere i økt gevinst for prosjekter som prosjekteres og utføres uten tegninger.

I tillegg til direkte tids- og kostnadsbesparelser som elimineringen av tegninger hadde medført, var det under intervjuer også nevnt andre fordeler med modellbasert bygging. Disse kommer vi tilbake til.

### Effektivisert prosjekterings- og utførelsesprosess

Arbeidsflyten i Smisto prosjektet var basert på Multiconsult sin gjennomføringsmodell som var tilpasset prosjektet. Den har vist seg å være effektiv for prosjekteringsprosessen. Dessuten ble behovet for revisjoner som typisk kan oppstå i lignende prosjekter, betraktelig redusert. Det var bare utført en revisjon av objekter som ble utgitt for bygging:



Figur 31 Oversikt over revisjoner for S4 i Smisto prosjektet

I følge prosjektledelsen førte begge de fordelene til en kostnadsreduksjon. I tillegg hadde en ny arbeidsflyt gitt en forbedret plattform for planlegging og oppfølging av prosjektet.

Alle konstruksjoner er utviklet og merket i henhold til den planlagte byggesekvensen, og kombineres med modeller fra leverandørene basert på installasjonsrekkefølgen. I kombinasjon med nivåer for kvalitetskontroll, skaper dette bedre planleggings- og oppfølgingsrutiner i prosjektet. Det gir i tillegg et merkingssystem for utførende som tillater en mer avansert samordning av konstruksjon og installasjonssekvensering i prosjektets forløp.



Inndeling av hver modell i leveransepakker strukturerer utførelses- og prosjekteringsprosessen og fordeler prosjektets ressursbehov. I mindre konstruksjoner vil det ikke alltid være nødvendig med oppdeling i leveransepakker. Dette vil igjen definere noen milepæler for når elementer i en spesifikk leveransepakke må oppnå ulike statusnivåer iht. fasebeskrivelse for prosjekteringen (Smith, 2017).

Det at modellen brukes som arbeidsunderlag, skaper mer fleksibilitet på byggeplass. I tilfeller der man må vente med utførelse av en leveransepakke på grunn av for eksempel forsinket leveranse, er det veldig enkelt å bytte om og begynne med en annen pakke. I konvensjonelle prosjekter hadde det ikke vært mulig siden det tar timevis å produsere nye tegninger, men i dette tilfellet brukes modellen, og det går veldig fort å ta utsnitt og all informasjon ligger inne (Habberstad, 2017).

Alle elementene for gjennomføring av betongarbeider er modellert i forhold til den planlagte støpningssekvensen, inkludert konstruksjonsleddet. Dette gir et nøyaktig grunnlag for prosjekteringen som for eksempel konstruksjonsberegninger, korrekt lengde på armeringsjern og skjøter. Det kan anses som en ekstra fordel for entreprenør at modellen gir muligheter for planlegging av bygging og bestilling i tidlig fase.

### **Økt kvalitet**

Alle intervjuobjektene påstår at bruk av modellbasert arbeidsunderlag resulterte i færre avvik og feil på byggeplassene.

Koordineringen utføres i modellen på forskjellige nivåer og fra tidlig fase for å hindre unødvendig omprosjektering senere i prosjekteringsfasen, og for å oppnå færre feil under utførelsen.

Kollisjonskontrollerte fagmodeller gir et mye bedre grunnlag for å produsere et koordinert arbeidsunderlag. I det omfanget entreprenør bygger disiplinert etter produsert underlag, kan det bygges med vesentlig færre feil funnet på byggeplassen. Det øker effektivitet i bygging og kvalitet på ferdig resultat.

### **Bedre kommunikasjon**

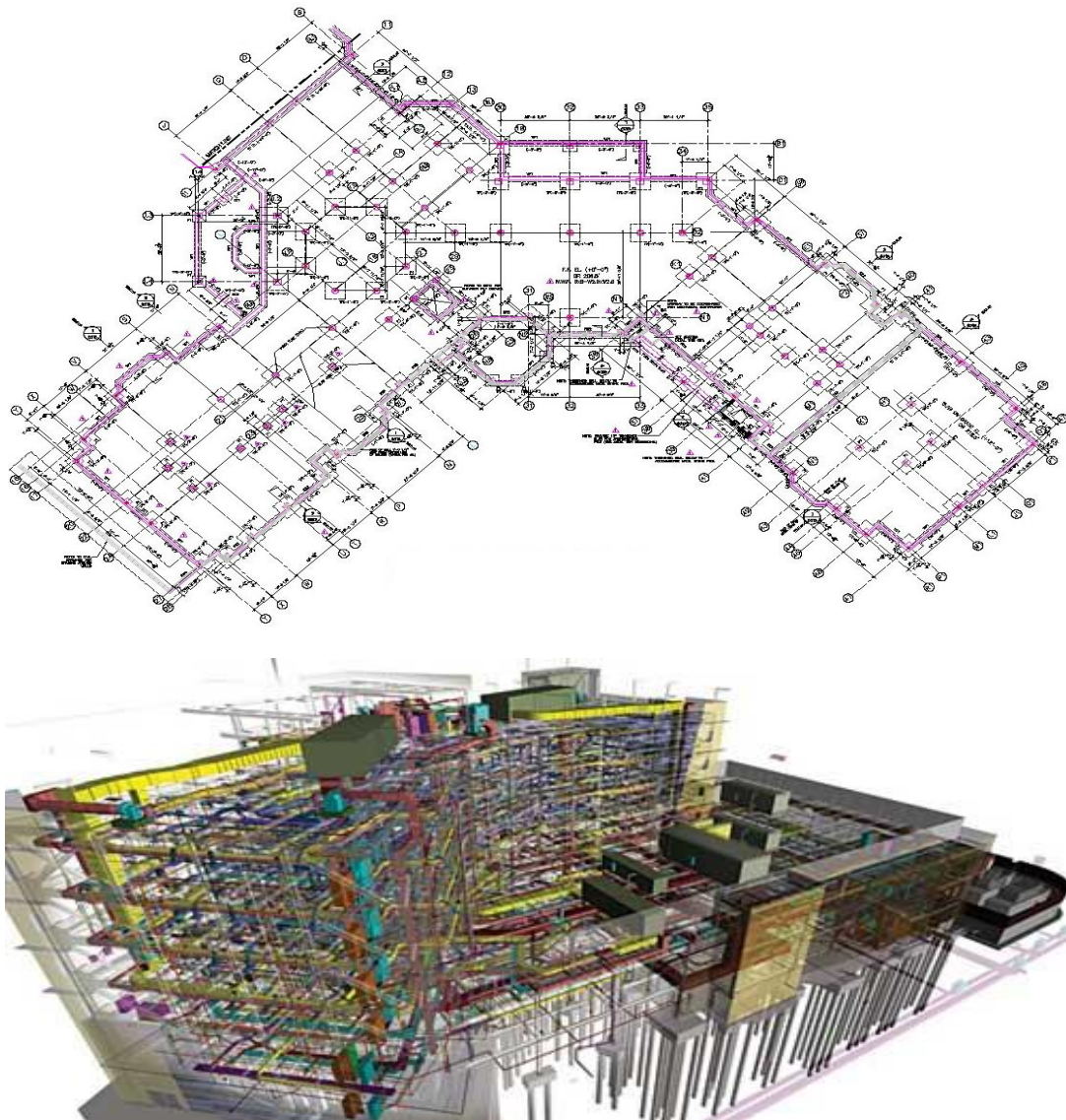
En 2D tegning kan være vanskelig å lese og tolke, den kan føre til misforståelser og feil. Modeller er mer visuelt, man kan få bedre forståelse hvordan ting henger sammen, og gå rundt i bygget / anlegget. Man kan ta snitt der man trenger det, skjule eller gjøre objekter gjennomsiktige, fargelegge osv. Dette gir en bedre forståelse av prosjektet.

En ny arbeidsflyt på Smisto tilrettelegger for en utvidet kommunikasjon gjennom modeller.

Modeller utarbeides og koordineres slik at riktig informasjon kan nå både entreprenørens prosjektledelse og byggearbeidere på byggeplass. Med moderne utstyr på byggeplass som lar man se på modellen, samt utstyr for maskinkontroll og oppmåling, er 2D tegninger ikke lengre den mest effektive måten å formidle

prosjekteringsgrunnlag til utførelse. Direkte flyt av data gjennom modeller danner grunnlag for kommunikasjon om design, inkludert prosjekteringsmøter.

Neste figur vil vise hvorfor en 3D modell er bedre for kommunikasjon enn en tegning.



*Figur 32 2D tegning vs BIM modell*

I tillegg brukes utsnitt fra 3D modellen for å utveksle informasjon om kollisjoner, markere dem og sende spørsmål til andre partene gjennom BCF-rapporter.

For å tilrettelegge innhenting av informasjon fra modellen, øke tilgjengeligheten, kan data sorteres i modellene på forskjellige måter. I kombinasjon med nivåer for kvalitetskontroll, øker det funksjonalitet i modellen, og en får en grafisk presentasjon av utvikling i modellen. Dette skaper en plattform hvor alle involverte aktørene enkelt kan kommunisere med hverandre.

## Arkivering av data

BIM-modell blir en stor database som samler og tar vare på all informasjon nødvendig til neste prosjekteringsfase og bygging. Oppgradering til «som bygget»-dokumentasjon vil potensielt skape et funksjonelt underlag for FDVU-fase i prosjektet.

I stedet for arkiv med tegninger, blir modellen et datahvelv hvor all informasjon ligger tilgjengelig.

## 5.2 Hvilke forutsetninger er nødvendige for at et tegningsløst prosjekt skal lykkes?

Nesten alle intervjuobjektene nevnte et godt samarbeid mellom prosjekterende og utførende som avgjørende suksessfaktor for et tegningsløst prosjekt.

Ved kontinuerlig kommunikasjon mellom partene ble det funnet gode og gjennomtenkte rutiner for prosjektet. Utførende definerte tydelig behov i forhold til modeller og prosjekterende kunne ta hensyn til det ved prosjektering fra tidlig fase.

Kontraktsformen la til rette for en tidlig involvering av leverandørene. Selv om totalentreprise anses som den mest passende typen for gjennomføring av et tegningsløst prosjekt, kan ikke forfatteren påstå at det er et nødvendig krav for å lykkes med tegningsfri modellbasert prosjektering og utførelse. I Vamma kraftverk prosjektet har partene inngått kontrakt med hovedentreprise. Vanligvis bruker ikke partene å kommunisere mye med hverandre ved denne kontraktsformen, men de måtte gjøre det for å få det til med et tegningsløst prosjekt.

Det er et bevis på at et tegningsløst prosjekt ikke nødvendigvis krever en kontrakt med totalentreprise. Men et godt samarbeid mellom partene med kontinuerlig kommunikasjon er helt nødvendig for å lykkes. Enten må begge partene være like engasjerte og ha en stor motivasjon eller krav til å levere prosjektet uten tegninger må være kontraktsfestet.

«Det er viktig at samarbeidsparter har evne å jobbe seg igjennom utfordringer for å finne løsninger og få opp entusiasmen blant de som jobber i prosjektet, for å skape et løsningsorientert team» (Handagard, 2017).

Det er viktig å forstå at den nye måten å prosjektere og utføre et bygningsprosjekt på, krever en ny tankegang. Det er en stor omstilling; fra tegninger i konvensjonelle prosjekter til modell.

En mulig innvending kan være som følger:

- «Vi har bygget etter tegninger i hundrevis av år. Hvorfor endre på noe vi har gjort så lenge?»

Derfor er det viktig å bruke tid på opplæring av dem som skal jobbe på prosjektet, slik at de som skal lage eller bruke modell har tilstrekkelig kompetanse på dataverktøyene.

### 5.3 Hvem bør endre sine arbeidsmetoder for å få det til?

Som vi har beskrevet tidligere er et tett samarbeid mellom prosjekterende og utførende en nøkkel til suksess i et tegningsløst prosjekt. Og det er uunngåelig at arbeidsrutiner da vil endres hos begge partene, men det kan variere hvem som gjør mest innsats for å få det til.

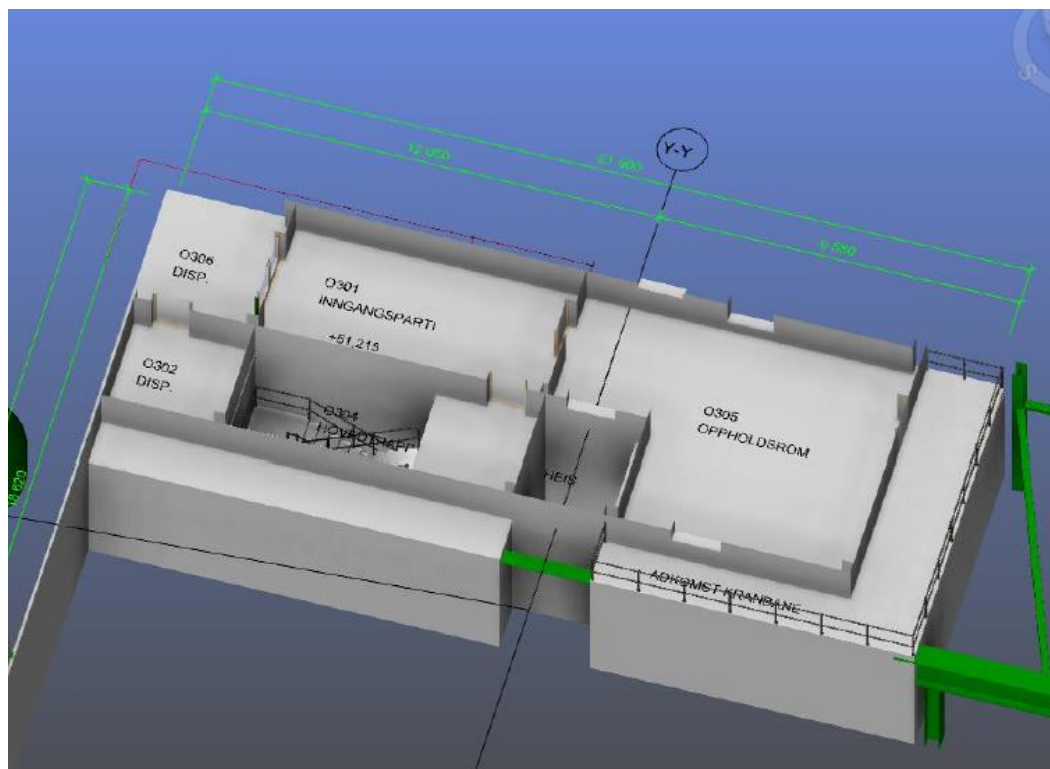
Oppgaven beskrev det Smisto gjorde hos de prosjekterende for å legge til rette til utførelse fra en modell. Vi kan oppsummere rådgivers prestasjoner som følger:

- Bistå i opplæring av personale hos entreprenør
- Forberede et sett med 3D visninger med hovedmålsetning for utførelse

Prosjekteringsgruppen laget predefinerte 3D visninger for å legge til rette for bygging. Det var ikke nødvendig siden utførende kunne lage 3D utsnitt fra modellen selv. Men et ferdig sett med visninger gjør det enklere for entreprenør som ikke hadde en stor kompetanse innen BIM.

En annen årsak er at det ikke finnes et bra nok verktøy for modellbaserte prosjekter tilpasset bruk på byggeplassen. Det er en utfordring å målsette i 3D i forskjellige programmer og kan kreve kjennskap til programmet.

I Vamma prosjektet har de løst denne utfordringen på samme måte, de laget 3D visninger med målsetning:

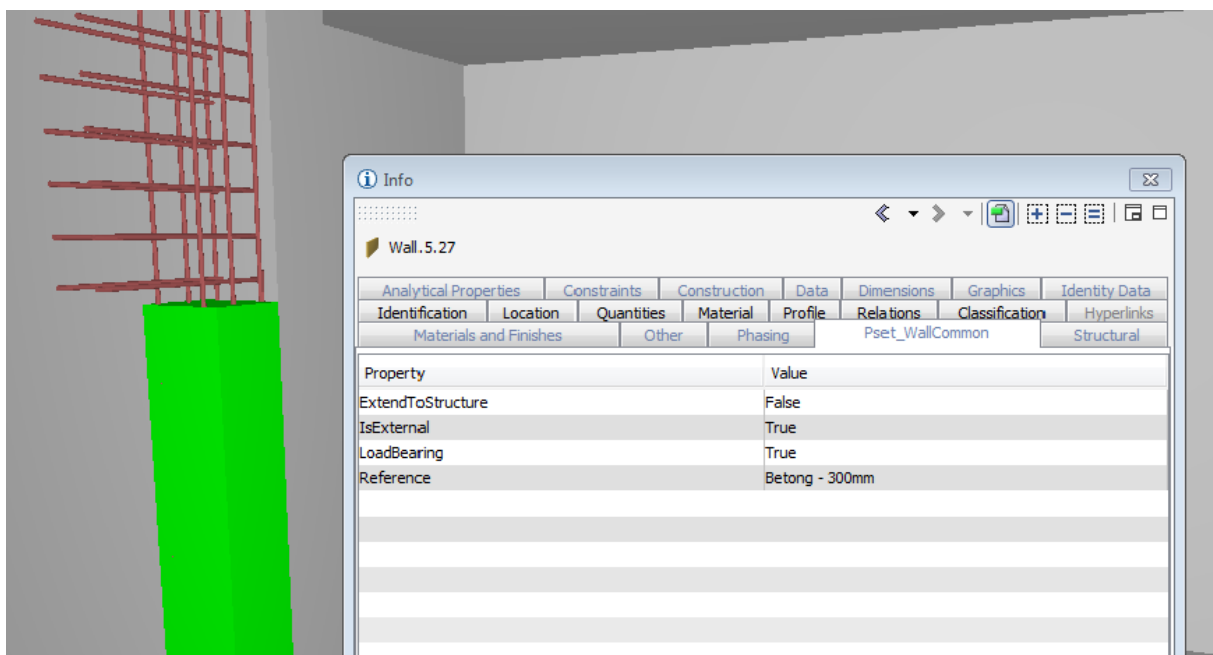


Figur 33 Predefinerte 3D visninger med målsetning (Handagard, 2016)

Som det var forklart av Fagsjef BIM fra AF Gruppen på Vamma prosjektet, Inge Handagard, var det nok med bare hovedmål siden resten av målene kunne man enkelt finne ut fra egenskaper på modellobjekter (Handagard, 2017).

- Lage video-presentasjoner som viser installasjonsrekkefølge av konstruksjonsdeler
- Tilpasse datamengde i modellen som skal sendes ut og spisse informasjon bare til den biten som entreprenør trenger

I en del tilfeller er mye av informasjonen man finner i modellen overflødig. Det kan være vanskelig å holde styr på data og ikke alle data er riktige eller relevante. I prosjekter som er tegningsløse, er riktige og relevante data i modellen nøkkelen til suksess. Dette kan gjøres ved å tilpasse eksporten (Ganz, 2017).



Figur 34 IFC-fil med ustrukturerte egenskaper

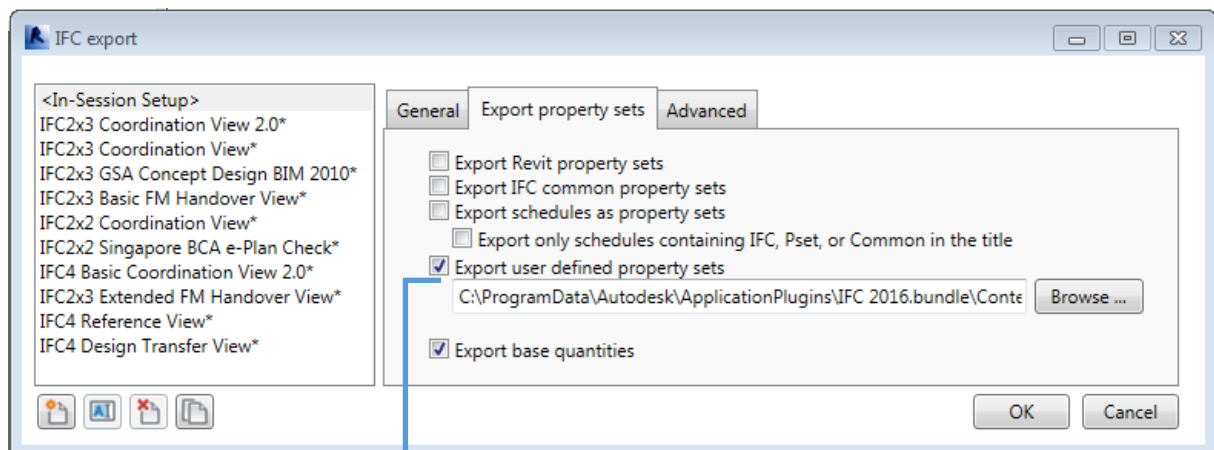
Det finnes forskjellige metoder for å sortere og gruppere data i BIM-en ved eksport til IFC-fil fra fagmodell. Ved for eksempel bruk av Revit som modelleringsverktøy, har man følgende valg ved eksport til IFC-format (for eksport brukes IFC Exporter, addons for Revit som man kan laste ned fra Autodesk sin nettside):

- Eksport til IFC med Revit Property Set samt IFC Property Set
- Eksport til IFC med egenskaper fra lister i Revit
- Eksport til IFC med bruker definert Property Set

Alle metoder har sine fordeler og ulemper.



### 3. Brukerstyrte egenskaper



User Defined PropertySet Definition File for Revit IFC Export

Format:

```
PropertySet:      <Pset Name>      I[Instance]/T[type]      <element
<Property Name 1>  <Data type>      <[opt] Revit parameter na
<Property Name 2>  <Data type>      <[opt] Revit parameter na
...
```

Data types supported: Area, Boolean, ClassificationReference, ColorTemp, Electricalcurrent, ElectricalEfficacy, ElectricalVoltage, Force, Illuminance, Integer, Label, Length, LinearVelocity, Logical, Lum, NormalisedRatio, PlaneAngle, PositiveLength, PositivePlaneAngle, Pressure, Ratio, Real, Text, ThermalTransmittance, Thermodynamic, VolumetricFlowRate

Example property set definition for BSN\_Process:

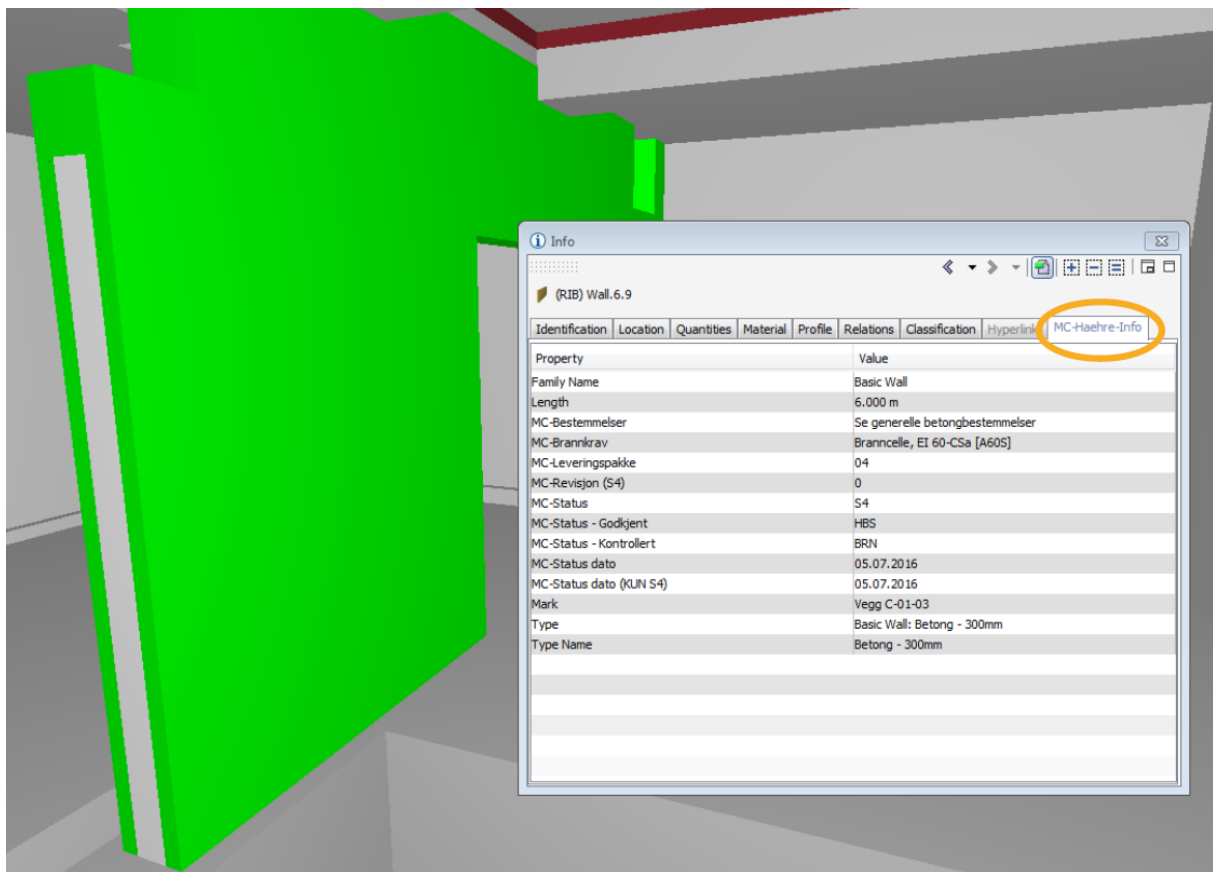
```
PropertySet:      MC-Haehre-Info      I      Ifcwall,IfcFloor,IfcBeam,Ifcslab
MC-Leveringspakke      Text
MC-Status      Text
MC-Status (KUN S4)      Text
MC-Status sign.      Text
MC-Revisjon (S4)      Text
MC-Bestemmelser      Text
MC-Forklaring      Text
MC-Brannkrav      Text
Vinkel      PlaneAngle
Count      Text
Actual Number of Risers      Text
Actual Riser Height      Length
Actual Tread Depth      Length
Top Level      Text
Base Level      Text
Length      Length
Type      Text
Type Name      Text
Family Name      Text
Mark      Text
Diameter      Length
DybdeF1e11      Length
```

Figur 37 Eksport til IFC med brukerstyrte egenskaper

**Fordel:** Kan definere egenskapssett med de egenskapene som passer til det enkelte prosjekt. IFC-filen blir meget ryddig.

**Ulempe:** Det tar tid å sette seg inn i hvordan Pset'ene skal defineres. Denne metoden virker ikke helt ferdig testet. I tillegg gir ikke alle kombinasjoner et ønsket resultat (Ganz, 2016).

På Smisto løste de utfordringen ved å velge metode nummer tre. De laget IFC Property Set som tar ved eksport til IFC en predefinert gruppe av egenskaper. Entreprenøren får en fil med akkurat den mengde av informasjon de trenger for utførelsen;



Figur 38 Et sett med egenskaper for entreprenør

På samme måte kan man filtrere informasjon og lage et tilpasset sett med egenskaper avhengig av hvem modellen skal sendes til.

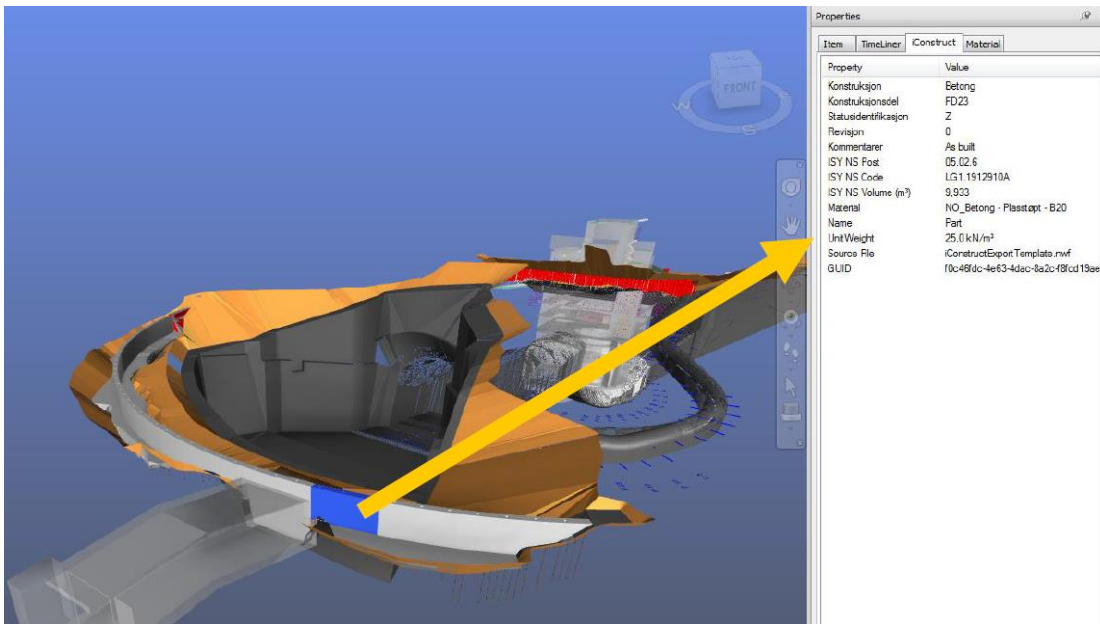
I Vamma kraftverk prosjektet var det annerledes med tanke på fordeling av oppgaver for en dataflyt. Utførende har en mer aktiv rolle i prosjektet. Grunnen til det kan være at AF Gruppen har stor erfaring og kompetanse innen BIM. De styrer modellen og data inn i den aktivt. Det er ikke behov for at rådgiver lager et spesielt tilpasset oppsett for IFC eksport. Entreprenøren bruker en annen metode for uttak av informasjon.

I dette prosjektet brukte de et annet verktøy for samordningsmodellen. Over 70 fagmodeller som ble produsert for Vamma kraftverk ble samlet i en samordningsmodell i Navisworks. Ifølge BIM-koordinator fra AF Gruppen, Inge Handagard, ville de ikke begrense muligheter for prosjekterende ved å stille krav til å bruke samme modelleringsverktøy. De prøvde å dra nytte av alle fordelene som forskjellige programmer kan tilby. Utfordringene som oppsto med forskjellige filformater ble løst ved hjelp av Navisworks som kan håndtere veldig mange filformater.

I tillegg til funksjonalitet som finnes i Navisworks brukte de en tilleggsmodul som utvider funksjonaliteten i Navisworks, iConstruct. Den kan strukturere data, filtrere ut bare den mengden som trengs for utførende. Den har samme formål som PSet i IFC Exporter, men prosessen er mer automatisert.

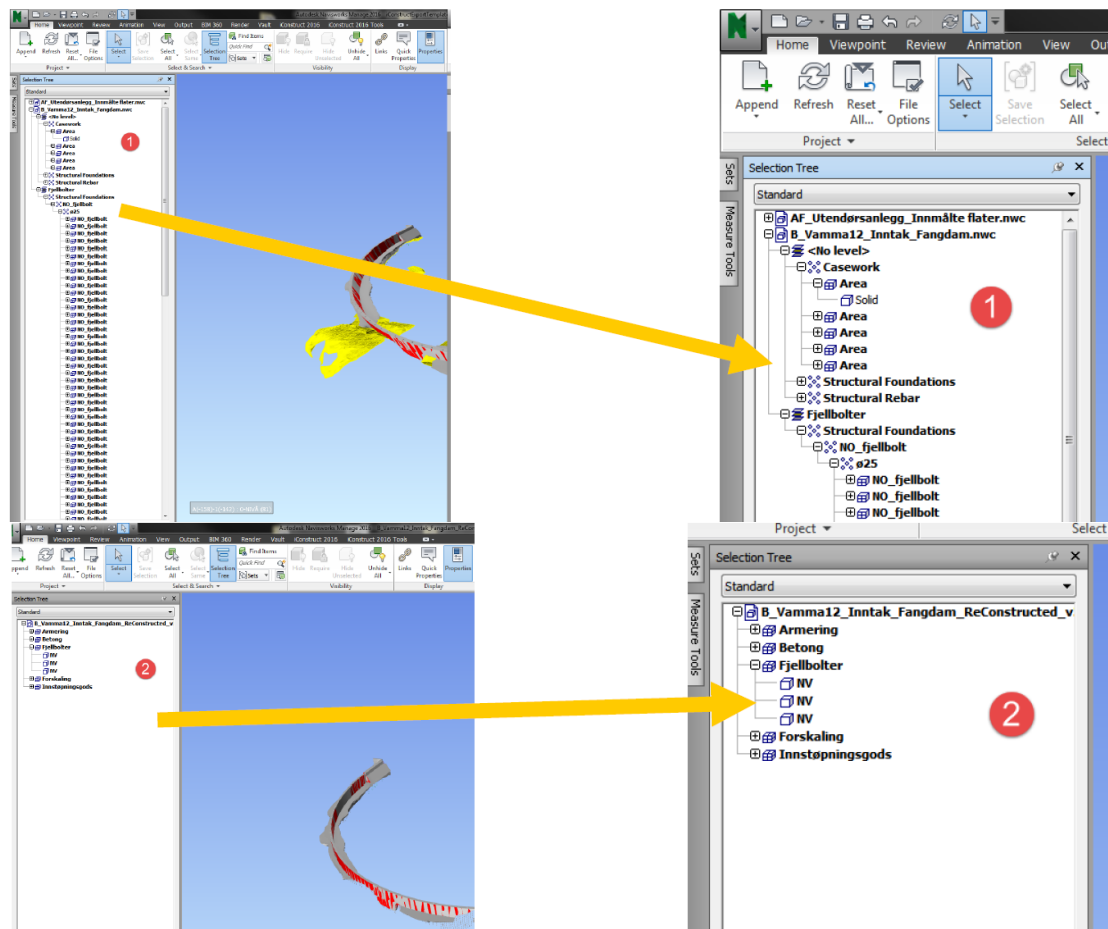


Neste figur viser et sett med egenskaper som er filtrert ut ved hjelp av iConstruct:



Figur 39 Filtrering av data ved hjelp av iConstruct (Handagard, 2016)

En annen viktig fordel med iConstruct er at den kan omstrukturere BIM-en. Neste figur viser modellstruktur i Navisworks, før og etter bruk av iConstruct:



Figur 40 Modellstruktur: før og etter bruk av iConstruct

Både prosjekterende og utførende må endre sine arbeidsrutiner for å lykkes med et tegningsløst prosjekt. Nøkkelen til suksess er et tett samarbeid mellom partene. Det kan variere fra et prosjekt til annet hvem som spiller en mer aktiv rolle i arbeidsflyt avhengig av kompetansenivået innen BIM (Strand, 2017).

## 5.4 Hvor er det vi lykkes i dag?

Norges byggenæring har erfaring med delvis tegningsfrie prosjekter. Det finnes flere prosjekter hvor armering modelleres i 3D og bygges uten tegninger.

Det startet med et lite pilot prosjekt på Gardemoen og fortsatte med Asker Tek prosjekt hvor Rambøll og Skanska har samarbeidet. Nå har Skanska 8 prosjekter med 3D armering. De prosjekterer og bygger armering uten tegninger (Mahieu, 2017).

På Smisto og Vamma kraftverk kom de videre med utvikling av metoden for den tegningsløse byggeprosessen. All fag, ikke bare RIB, leverte modeller.

I fremtiden vil tegningsfrie modellbaserte prosjekter bli mer vanlige.

## 5.5 Hvor kan vi bli bedre?

### 5.5.1 Prosess

I dette kapitlet vil forfatteren drøfte hva som kan bli bedre ved gjennomføring av et tegningsløst prosjekt. Vi skal fokusere på metoden for kontroll av et modellbasert arbeidsunderlag. Som vi nevnte i kapittel 4.4, brukes det sjekklister i Excel ved siden av BIMen i Solibri. Noen punkter i sjekklisene er implementert i Solibri regelsjekker. Men selve kontrolldokumentasjon lagres utenfor modellen. Ved å samle den i modellen, ville man fått bedre kontroll over dokumentasjon og arkiv.

Oppgaven vil vise en mulig løsning på denne utfordringen ved å bruke en metode utviklet i et annet Multiconsult prosjekt, Hydro Karmøy. Selv om prosjektet ikke var tegningsløst, kom de et steg videre med utvikling av rutiner for kontroll av modellbasert arbeidsunderlag og utførte kontroll med sjekklister rett i modellen.

- Det var utarbeidet en fremdriftsplan med planlegging av statuser for hver milepæl

«Vi planla seneste dato for oppnåelse av kvalitetsnivå per fag. Modenheten til disiplinene ble planlagt multidisiplinelt. Tanken er at premissgivende disipliner må ha høyere modenhet tidligere enn nedstrømsdisipliner» sier prosjekteringsleder for oppdrag, Lars Lenning.

Neste figur viser prosjektfaser med oversikt over planlagte prosessstatuser for forskjellige disipliner.

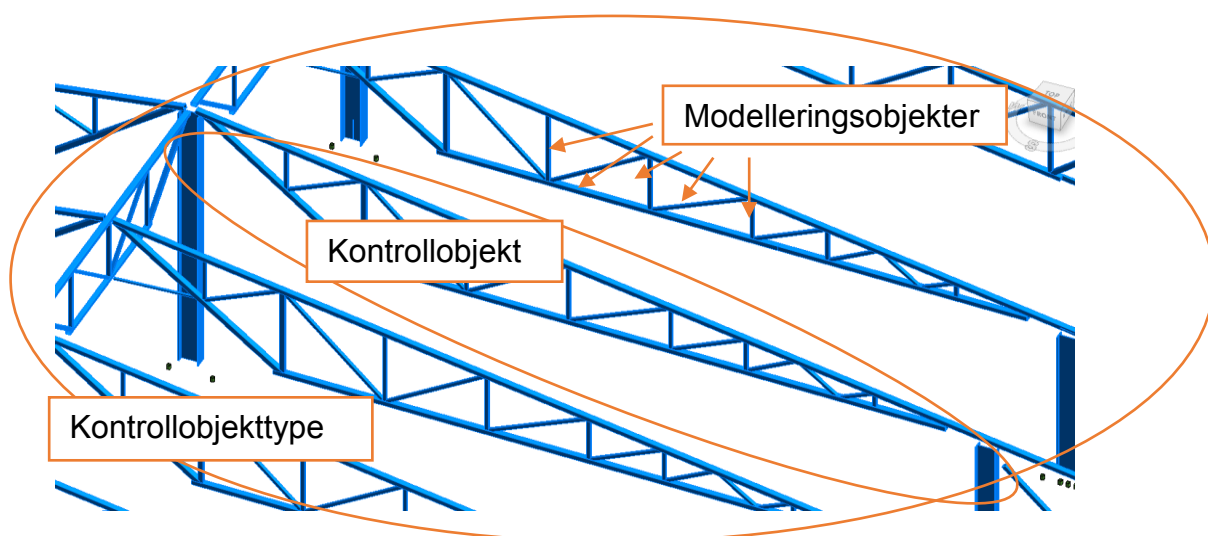
PEM INDUSTRY Quality Level Description			1. PRE-CONCEPT	2. CONCEPT	3. BASIC ENGINEERING			4. EXECUTION				
Key Activity - Engineering & 3D Modelling					3.1 Project Execution Plan, Process and Layout	3.2 Engineering to IDG and project Cost Estimate	4.1 Detail Design Frozen	4.1B Detail Design Complete	4.2 Construction and Installation	4.3 Mechanical Completion	Con	
Discipline	Control object type	Control object			QL1 [15.05.15]	QL2 [02.10.15] [22.01.16]	QL3 [18.12.15] [15.04.16]	QL4 [01.05.16] [31.12.16]	QL5 [31.07.17] [31.01.18]			
Concrete structures	Foundations	Column foundations			S1	S2	S3	S4				
		Minor foundation			S1	S2	S3	S4				
		Furnace and bus foundations			S1	S2	S3	S4				
	Columns, beams and walls	Walls minor rooms				S1	S2	S3	S4			
		Columns Concrete Structure				S1	S2	S3	S4			
		Operating floor				S1	S2	S3	S4			
Floors and slabs	Ground floor				S1	S2	S3	S4				
	Culverts				S1	S2	S3	S4				
	Minor floors and slabs				S1	S2	S3	S4				
Structural	Main steel	Columns Structural			S1	S2	S3	S4				
		Beams			S1	S2	S3	S4				
		Roof trusses			S1	S2	S3	S4				
	Secondary steel	Bracing				S1	S2	S3	S4			
		Parting				S1	S2	S3	S4			
		Access platforms				S1	S2	S3	S4			
	Outfitting steel	Equipment and pipe supports				S1	S2	S3	S4			
		Monorails and lifting lugs				S1	S2	S3	S4			
	Crane beams				S1	S2	S3	S4				
	HVAC (HVAC)	Equipment	Air handling unit			S1	S2	S3	S4			
Ducts and penetrations		Ducting			S1	S2	S3	S4				
EL (EL)	EL	HVAC Louvers			S1	S2	S3	S4				
		Færingsveier-kabler i bygg			S1	S2	S3	S4				
		Færingsveier-kabler i bakken			S1	S2	S3	S4				
		Belysning			S1	S2	S3	S4				
		Utstyrsplassering			S1	S2	S3	S4				

Figur 41 Oversikt over prosessstatuser for hver milepel for Hydro Karmøy

- Modellobjekter var splittet i forskjellige grupper for å tilrettelegge statussetning i modellen

På Smisto settes status på hvert enkelt objekt i modellen, for eksempel, et armeringsjern. Status på leveransepakke settes når alle objekter som inngår i leveransepakken har oppnådd et bestemt status. Det kan være veldig tidskrevende å sette status på alle objekter i større prosjekter.

Derfor definerte de et objekthierarki på Hydro Karmøy. Modelleringsobjekter er gruppert i større kontrollobjekter. For hvert fag finnes det flere kontrollobjektyper:



Figur 42 Objekthierarki på Hydro prosjektet

Alle disipliner måtte verifisere/justere kontrollobjekter som var aktuelle for oppdraget og plassere sine statuser riktig i tid.

- Kontrolldokumentasjon var implementert i BIMen

Når statusene var planlagt riktig i tid, gikk disiplinlederne igjennom og justerte alle sjekkspørsmålene for alle kontrollobjekttypene. Da ble alt klart for innlegging i modelleringsverktøyet.

INDUSTRY PEM STATUS CHECKLIST						
Key Activity - Engineering Management						
Discipline	Control object type		S1	S2	S3 S4	
Concrete structures	Foundations	Er alle Holds klart definert?			X X	
		Er detalj modellering av 3D objektet fullført og "approved for construction"?			X	
		Er tegningen av objektet ferdig sidemannskontrollert for IFC?			X	
		Er aktuelle grunnforhold kartlagt (dybde til fjell, geotekniske parametre)?	X	X		
		Er eksisterende objekter i grunnen registrert?	X			
		Har elektrisk isolasjon mellom søyler og fundamenter blitt vurdert og eventuelt modellert?		X	X X	
		Er setninger beregnet og differanssetninger vurdert?			X X	
		Er (de korrekte) stivhetene til tilstøtende konstruksjoner og jord inkludert i den statiske modellen?		X	X X	
		Har alle grensesnitt blitt identifisert?	X	X X		
		Har alle styrende objekter (grensesnitt) tilsvarende høy status?		X	X X	
		Er tilstrekkelige beregninger gjort for å fastslå maks ytre dimensjoner?		X		
		Oppfyller objektet input fra tekn analyser, med endelige dimensjoner?			X X	
		Er alle endringer implementert?			X	
		Er innstøpningsgods implementert i objektet?			X X	
		Er gyldige penetrasjoner inkludert?			X X	
		Er korrekt materiale angitt for alle delene av objektet?	X	X X X X		
		Er objektete modellert i korrekt level,workset og assembly?	X	X X X X		
		Er form med max ytre dimensjoner og lokasjon akseptert av egen disiplin?		X		
		Objektet har korrekt navn?	X	X X X X		
		Clashesjekk er utført og evt clasher identifisert?		X		
		Clashesjekk er utført og alle clasher løst?			X X	
		Kommentarer fra idc review implementert?			X	
		Objektet har korrekt geometri og posisjon?		X X X X		
		Er alle Holds klart definert?			X X	
Er detalj modellering av 3D objektet fullført og "approved for construction"?			X			
Er tegningen av objektet ferdig sidemannskontrollert for IFC?			X			

Figur 43 Eksempel på sjekkspørsmål på Hydro prosjektet

«En observasjon her er at man må ta stilling til hva som sjekkes i modell og hva som sjekkes på tegningssjekklistene.

Vi lærte også at man må tenke gjennom beslutningsmyndighet, med tanke på at disiplinmodellerere ofte besvarer sjekkspørsmål direkte i modellen. I praksis er det naturlig at disiplinmodellerer signerer sjekkspørsmål i modellen, mens det er disiplinleder og objektlederen som har det overordnede ansvaret. Spesielt gjelder det sjekkspørsmål knyttet til grensesnittsjekk» (Lenning, 2017).

Det ble tilført parametere i modellene. Parametere gjør det mulig å legge informasjon på objekter. Dette var Ja/Nei-parametere. Det ble brukt en tilleggs-applikasjon til Revit som var et modelleringsverktøy for alle disipliner, dette for å gjøre jobben mest mulig effektivt.

Det var opprettet egne 3D-visninger med schedules for hver type kontrollobjekt i modellene. 3D-visningene filtrerte på kontrollobjekter og statusfarget dem; disse ga en visuell kontroll i tillegg. Schedules ble brukt til få besvart spørsmål og sette status.

- 04 PEM
- Controll objects
  - 3D View: 01 Column Foundations
  - 3D View: 02 Minor Foundation
  - 3D View: 03 Furnace and bus foundations
  - 3D View: 04 Walls minor rooms
  - 3D View: 05 Columns - Concrete structures
  - 3D View: 06 Operating floor
  - 3D View: 07 Ground floor
  - 3D View: 08 Culverts
  - 3D View: 09 Minor floors and slabs
  - 3D View: 10 Columns - Structural
  - 3D View: 11 Beams
  - 3D View: 12 Roof trusses
  - 3D View: 13 Bracing
  - 3D View: 14 Purlins
  - 3D View: 15 Access platforms
  - 3D View: 16 Equipment and pipe supports
  - 3D View: 17 Monorails and lifting lugs
  - 3D View: 18 Crane beams

Schedule: S1 - 01 Column Foundations - 127423\_Potroom\_CS\_mariak.rvt

<S1 - 01 Column Foundations>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Selected	S1 - Er korrekt materiale ansett for alle delene av objektet?	S1 - Er objektet modellert i korrekt level/workset og assembly?	S1 - Objektet har korrekt navn?	S1 - Oppnådd	HOLD	S1 - Sign	S1 - Date
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		IGA	16.05.2015
Yes: 2							
No: 693							
Grand total: 695							

Figur 44 Bruk av 3D visninger og schedules for å visualisere kontrollobjekttyper (Hydro Karmøy)

På denne måten kunne man se det gjeldende objektet mens man definerte status og besvarte sjekkspørsmålene.

The image shows a software interface for quality control. On the left, a 'Properties' window is open for 'Structural Framing Assembly Side section 13'. It lists 18 construction items, all with checked boxes:

- 01 - Columns Foundations
- 02 - Minor Foundations
- 03 - Furnace and bus foundatio...
- 04 - Wall minor rooms
- 05 - Columns - Concrete structu...
- 06 - Operating Floor
- 07 - Ground Floor
- 08 - Culverts
- 09 - Minor floors and slabs
- 10 - Columns - Structural
- 11 - Beams
- 12 - Roof Trusses
- 13 - Bracing
- 14 - Purlins
- 15 - Access Platforms
- 16 - Equipment and pipe supp...
- 17 - Monorails and lifting lugs
- 18 - Crane Beams

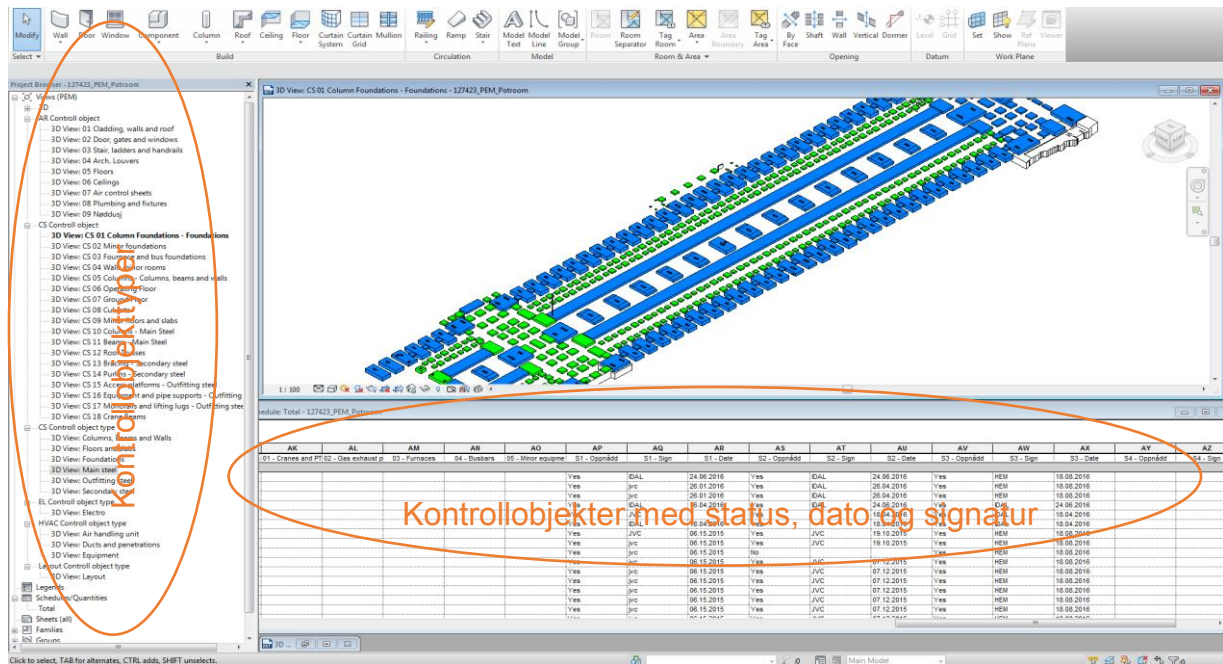
On the right, a 3D model shows a complex arrangement of red and yellow rectangular blocks. Below the 3D model, a schedule window is visible, showing a table with columns A through R and rows for selected items, with yellow highlights in the first few rows.

Figur 45 Kvalitetskontroll utføres i fagmodell (Hydro Karmøy)

Som resultat får man:

- Kontrollobjekttypen i modell
- Sjekkliste med sjekkspørsmål i modell
- Statussetting i modell
- Signering i modell (med dato for status)
- Hold-kommentarer i modell

Neste figur viser hvordan kontrollobjekttypen og kontrollobjekter kan se ut i verktøyet:



Figur 46 Kontrollobjekttypen i modellen

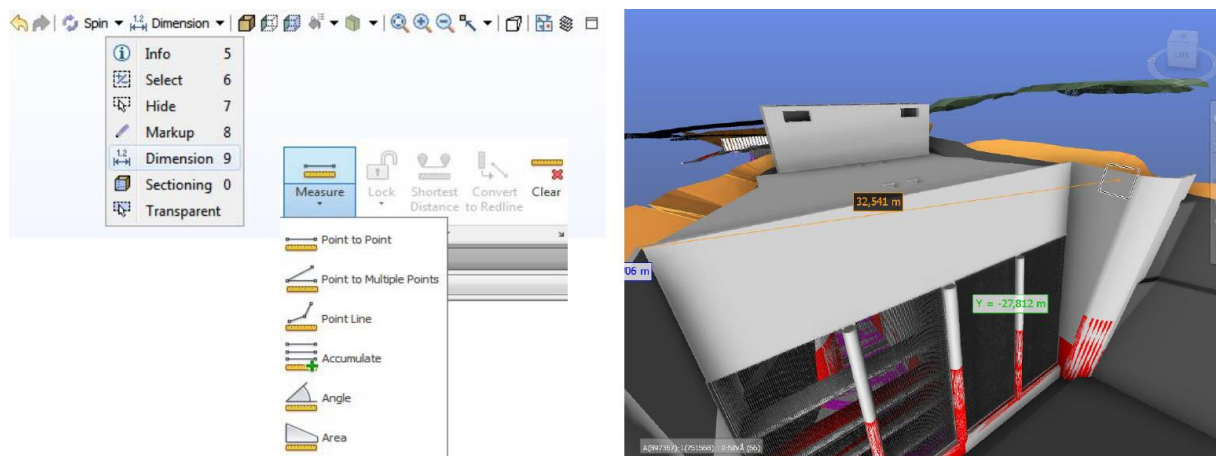
«Objekt-hierarki tankegangen var utfordrende å få til i det valgte verktøyet på Karmøy-oppgaven. Det krever en ryddighetskultur hos de som modellerer. Det er fortsatt et gap mellom metoder og muligheter i verktøyet. Vi følte at vi brukte en metode som fungerer i PDMS («Et modelleringsverktøy som brukes i olje- og gassprosjekter» OB) og opplevde mangel på funksjonalitet i Revit for å gjøre det på samme måte» (Lenning, 2017).

Selv om metoden har et forbedringspotensial, kan tankegangen brukes for å implementere kontroll i BIMen og kan anses som et neste sted i utvikling av metoden for tegningsløse prosjekter.

## 5.5.2 Verktøy

Verktøyene som finnes per i dag, er tilpasset konvensjonell prosjekteringsmåte hvor man først oppretter 3D modell og så lager tegninger ut fra denne modellen. Hvis det skal brukes for et tegningsløst modellbasert prosjekt, må man huske på at det fortsatt ligger flere begrensninger i programmene.

For eksempel mangler alle programmene for samhandling en god og intuitiv funksjonalitet for målsetning i 3D modell. Hvis man ikke har tilstrekkelig kompetanse i bruk av verktøyene, er det enkelt å gjøre feil. Neste figur viser hvorfor det kan være vanskelig å målsette i 3D (utsnitt er tatt fra Vamma kraftverk modell i Solibri):



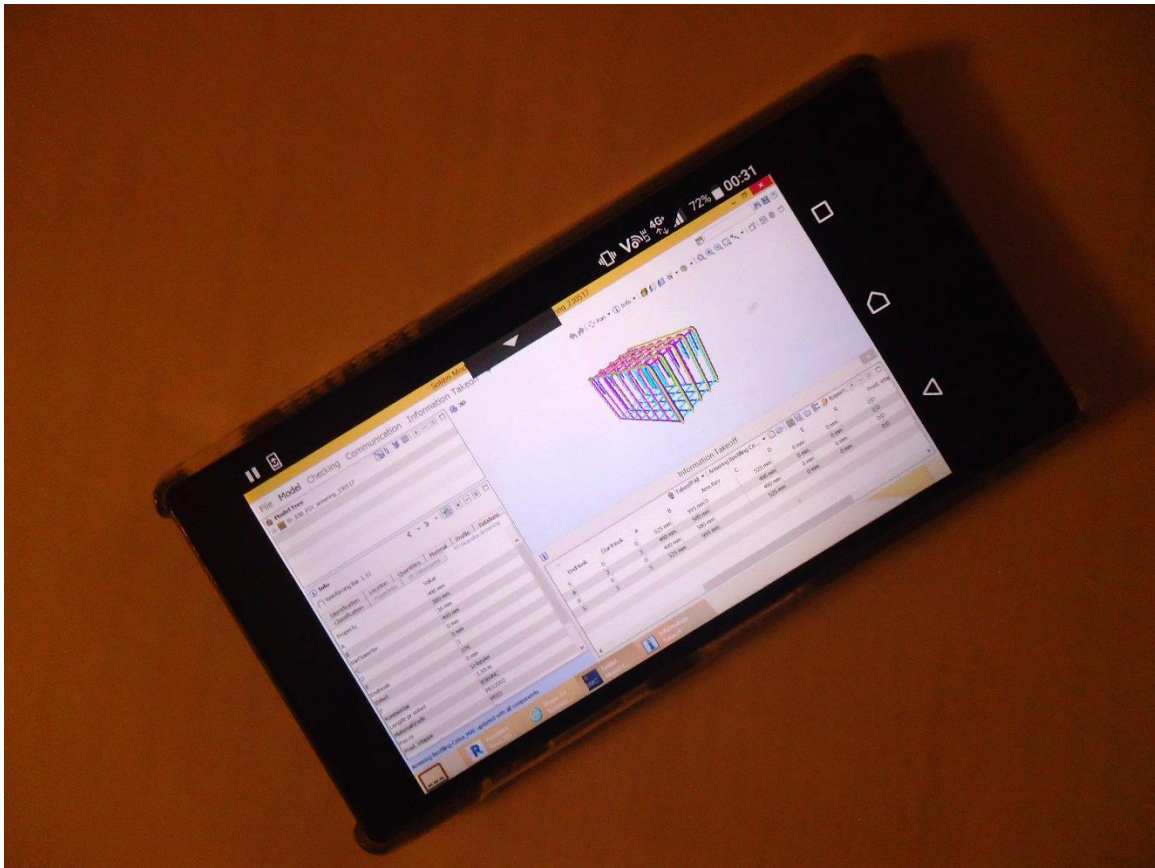
Figur 47 Målsetning i 3D modell kan være en utfordring (Handagard, 2016)

Dette er årsaken til at både på Smisto og Vamma prosjektene har de laget et sett med 3D visninger og målsatte modeller.

Et annet problem med Solibri er at det ikke finnes viewere for å åpne Solibri format på nettbrett med iOS operasjonssystem eller Android. Solibri krever bruk av Windows. Det vil si at man ikke får bruke iPad på byggeplassen hvis Solibri benyttes i samhandling. I noen prosjekter var det løst ved innkjøp av Microsoft Surface med Windows operasjonssystem, men de koster minst dobbelt så mye som iPad.

En mulig løsning kan være en bruk av VDI (Virtual Desktop Infrastructure) på byggeplassen. VDI er et felles dataområde hvor det er installert alle programmer for modellering og samhandling. Alle befinner seg i samme miljø hvor all data lagret og tilgjengelig for alle aktører. Man kan få tilgang til virtuell desktop enten fra datamaskin eller fra nettbrett og mobil. VDI er lite testet i bygningsprosjekter, men i januar 2017 ble den innført på Tønsberg sykehus prosjekt som ble et første prosjekt i Norge med IPD kontraktsformen og bruk av VDI.

Neste figur viser en mobiltelefon hvor vi ser en full versjon av Solibri Model Checker med armering:



Figur 48 VDI i praksis: Solibri Model Checker på mobil

Den største utfordringen med verktøy for utføring av et tegningsløst prosjekt, er at det ikke finnes noe godt verktøy for fagarbeidere på byggeplassen.

Når en fagarbeider går i hyllen og velger seg en arbeidstegning, har han allerede implisitt gjort noen valg:

1. Han har valgt fag
2. Han har valgt område
3. Han vet hvilken detaljgrad som trengs for å vise den informasjonen han trenger.
4. Han har valgt et produkt som er tilpasset og kvalitetssikret i forhold til punktene 1-3.

For å forbedre metoden for et tegningsløst prosjekt må vi etter hvert svare på følgende spørsmål: hvordan skal fagarbeideren få tilgang, på en enkel måte, til den informasjonen i modellen han normalt finner på en arbeidstegning?

Dagens visningsløsninger er tilpasset modellkontroll (Solibri), byggeplasskontroll (Dalux/Rendra) eller generell visualisering (360 Glue). Dette er en «propp» i modellbasert informasjonsutveksling med hensyn til utførelse. Det er ingen programvare som spør: hvem er du og hvor skal du jobbe i dag og på bakgrunn av det gir en 3d-visning som samsvarer med «tradisjonelle tegninger». Systematikk og verktøy som løser dette, er meget viktig for å komme videre.



## 6 Konklusjoner

Resultatene fra prosjekter som ble undersøkt viser at en tegningsløs byggeplass vil effektivisere byggeprosessen. I konvensjonelle prosjekter med 2D tegninger i detaljprosjekteringsfasen brukes førti prosent av tiden for å lage en BIM modell med all geometri og informasjon, mens seksti prosent av tiden trenges for å lage og vedlikeholde alle tegninger. Eliminering av tegninger kan resultere i betydelig ressursbesparelser for prosjekter.

Direkte dataflyt mellom partene i Smisto prosjektet ble oppnådd gjennom bruk av 3D / BIM-modellene, og det har effektivisert byggeprosessen betydelig:

- Minimering av tidskrevende manuelle operasjoner, for eksempel ved behov å etablere og vedlikeholde et komplett sett med 2D tegninger. I tillegg reduserer det også mulige feilkilder.
- Det etableres en utmerket plattform for utveksling og gjenfinning av informasjon.
- Bruk av BIMen forbedrer tverrfaglig koordinering og kontroll.
- Det skapes et effektivt verktøy for planlegging, som omfatter både prosjektering- og utførelsesarbeider.
- Verktøyet som visualiserer byggeprosessen og gir en utmerket oversikt over et byggeprosjektet.
- Bruk av BIMen uten tegninger tilrettelegger for direkte mengdeuttak fra modellen på hvilket som helst tidspunkt og forenklet masseberegning.

Undersøkelsen viser at et godt og tett samarbeid mellom prosjekterende og utførende med kontinuerlig kommunikasjon er helt nødvendig for å lykkes med et tegningsløst byggeprosjekt. Enten må begge partene være like engasjert og ha motivasjon eller må krav til å levere prosjektet uten tegninger være kontraktsfestet.

For å dra nytte av modellen og kunne benytte den i full skala, må det skapes forståelse for prosessen og kjennskap til programvarer som lar en bruke BIM-modell og håndtere informasjon i modellen. Nå ligger det en betydelig begrensing i kompetanse hos utførende på byggeplassen. Derfor er det viktig å bruke tid på opplæring av dem som skal jobbe på prosjektet, slik at de som skal lage eller bruke modellen har tilstrekkelig kompetanse i dataverktøyene.

Det er uunngåelig at i et tegningsløst prosjekt må arbeidsrutiner endres hos både prosjekterende og utførende. Men det kan variere hvem som må gjøre større innsats for å få det til i ulike prosjekter.

Norsk byggenæring har allerede hatt erfaring med delvis tegningsløse prosjekter, for eksempel prosjekter med 3D armering. Smisto og Vamma kraftverk tok dette videre med utvikling av en metode for et tegningsfritt modellbasert prosjekt. I de overnevnte prosjektene har alle disiplinene levert modeller uten tegninger. I fremtiden vil tegningsfrie modellbaserte prosjekter bli mer vanlige.

## 7 Videre arbeid

Metoden som var utarbeidet på Smisto prosjektet, bør videreutvikles. Sjekklistene som ble benyttet for kvalitetssikring av RIB modellen, må implementeres mer i BIMen. Det bør utarbeides lignende lister for modellsjekk for andre disipliner. Videre må erfaringer fra Smisto og andre tegningsløse prosjekter samles og oppsummeres til en omforent metode. Metoden må også tilpasses forskjellige prosjekttyper.

I denne oppgaven er det fokusert på bruk av BIM modell under prosjektering og utførelse i et byggeprosjekt, men det bør undersøkes hvordan modellen kan benyttes under drifts- og vedlikeholdsfasen. Bruk av BIM modell for FDVU er et aktuelt emne for videre arbeid.

Verktøyene må bli bedre. Det bør utvikles et dataverktøy som passer til fagarbeiderne på byggeplassen. Et slikt dataprogram må få et brukergrensesnitt som lar deg velge fag og arbeidsområde ved åpning av modellen.

## 8 Litteratur, ref.

1. Autodesk University. (2017) Online learning. Tilgjengelig fra: <http://au.autodesk.com/au-online/overview> (Hentet: 15.02.17).
2. BIMForum, (2015). *Hva er BIM*. Tilgjengelig fra: <http://bim-forum.no/hva-er-bim/> (Hentet:14.05.2017).
3. BIMForum, (2016) *LOD-spesifikasjon*. Hentet 06.05.2017, Tilgjengelig fra: <http://bimforum.org/lod/> (Hentet 06.05.201).
4. BuildingSMART (2014) *Hva er åpenBIM* Tilgjengelig fra: <https://buildingsmart.no/hva-er-apenbim> (Hentet: 13.05.2017).
5. BuildingSMART. (2015) BIM relaterte studentoppgaver. Tilgjengelig fra: <https://buildingsmart.no/utdanning/studentoppgaver> (Hentet: 15.02.17).
6. BuildingSMART Norge, (2017). Prosesstatus med fargekoder. Tilgjengelig fra: [https://buildingsmart.no/sites/buildingsmart.no/files/bsng\\_statuskoder-fargekoding\\_20170217.xlsx](https://buildingsmart.no/sites/buildingsmart.no/files/bsng_statuskoder-fargekoding_20170217.xlsx) (Hentet 07.05.2017).
7. Busch, T. (2013) *Akademisk skriving for bachelor- og masterstudenter*. Bergen: Fagbokforlaget.
8. CooperIndustries, (2017). *BIM-terminology*. Tilgjengelig fra: <http://www.cooperindustries.com/content/public/en/lighting/resources/LightingStories/BIM-Terminology.html> (Hentet 14.05.2017).
9. Cone, K., (2015) We don't need no stinking drawings. *Revit Technology Conference Europe*.
10. Dalland, O. (2012) *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Oslo: Gyldendal akademisk.
11. Fløisbonn, H. og Skeie, G. (2017) *MMI – Modell modenhets indeks*. Multiconsult ASA. Skøyen.
12. Ganz, M. (2016) *Objektstatus i modell – praksis*. BIM-nettverkssamling 2016. Multiconsult ASA. Skøyen.
13. Ganz, M. (2016) *Objektstatus i modell – teori*. BIM-nettverkssamling 2016. Multiconsult ASA. Skøyen.
14. Ganz, M., (2017). *Et intervju*. Multiconsult ASA. Skøyen.
15. Ghauri, P., & Grønhaug, K. (2010) Education Limited.
16. Grenness, T. (2001) *Innføring i vitenskapsteori og metode*. Oslo: Universitetsforlaget.
17. Habberstad, H., (2017) *Et intervju*. Skanska. Oslo.

18. Handagard, I. (2016). *Addressing Future*. Den Kloke Tegning 2016. Tilgjengelig fra: [http://www.denkloketeknologi.no/fileadmin/red/PDF/Foredrag\\_2016/19\\_Addressning\\_Future\\_Handagard\\_Juvland.pdf](http://www.denkloketeknologi.no/fileadmin/red/PDF/Foredrag_2016/19_Addressning_Future_Handagard_Juvland.pdf) (Hentet: 02.05.17).
19. Handagard, I., (2017) *Et intervju*. AF Gruppen. Oslo.
20. Halvorsen, K. (2008) *Å forske på samfunnet: en innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. Cappelen Damm
21. *Hva er forskningsdesign, og hvordan velge riktig forskningsdesign* (2016) Kunnskapssenteret. Tilgjengelig fra: <http://estudie.no/hva-er-forskningsdesign/> (Hentet 13.02.17).
22. Kensek, K., (2014) *Building Information Modeling: BIM in Current and Future Practice*. Research UC Berkeley. California.
23. Kilian, J., Sarrazin H., Yeon H. (2015) *Building a design-driven culture*, McKinsey & Company. Tilgjengelig fra: <http://www.mckinsey.com/business-functions/marketing-and-sales/our-insights/building-a-design-driven-culture> (Hentet: 10.05.2017).
24. Kvale, S. og Brinkmann, S. (2009) *Det kvalitative forskningsintervju*. 2. Utg. Oslo: Gyldendals Akademisk
25. Langlo, J. A., (2013). *Måling av produktivitet og prestasjoner i byggenæringen*. SINTEF. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/globalassets/bygg21/problemnotat---produktivitetsmaling-i-byggenaringen.pdf> (Hentet 06.06.2017).
26. Lenning, L. (2017) *Et intervju*. Multiconsult ASA. Skøyen.
27. Ludesher-Huber, F. (2016) *Vamma 12 kraftverk*. Norconsult. Tilgjengelig fra: <https://www.norconsult.no/referanser/energi/vamma-12--norges-storste-elvekraftverk/> (Hentet: 16.02.17).
28. McPhee, A. (2013) Practical BIM blog, *What is this thing called LOD*. Tilgjengelig fra: <http://practicalbim.blogspot.no/2013/03/what-is-this-thing-called-lod.html> (Hentet: 07.05.2017).
29. Mahieu, P., (2017) *Et intervju*. Rambøll. Skøyen
30. *Smisto kraftverkt* (2016) Multiconsult. Tilgjengelig fra: <http://www.multiconsult.no/prosjekter/smisto-kraftverk/> (Hentet 16.02.17).
31. Ringdal, K. (2001) *Enhet og mangfold: samfunnsvitenskapelig forskning og kvantitativ metode*. Bergen: Fagbokforlaget.
32. Samset, K. (2013). *Forskningsmetodekurset 2013*. Presentasjon tilsendt av Studieprogramleder for Bygg- og Miljøteknikk Tore Hoven.
33. Sandnes, C., (2015) Produktivt felleskap. Tilgjengelig fra: <http://www.manifestidsskrift.no/produktivt-felleskap/> (Hentet: 06.06.2017).
34. Samset, K. (2015). *Prosjekt i tidligfasen. Valg av konsept*. Bergen: Fagbokforlaget.
35. Sander, K. (2016) *Forskningsmetoder: Casestudie* Oslo: Bedriftsøkonomens forlag. Kunnskapssenteret. (2016). Tilgjengelig fra: <http://estudie.no/casestudie/> (Hentet:16.02.17).

36. Saunders, M. N. K., Lewis, P. & Thornhill, A. (2015). *Research methods for business students*. 7. Utgave. Harlow: Pearson.
37. Seehusen, J., (2011). Drastisk fall i produktivitet. Hentet 06.06.2017 fra: <https://www.tu.no/artikler/drastisk-fall-i-produktivitet/246917>
38. Smith, H. og Hansen, G. (2016) *A model design*. Waterpower Magazine. Tilgjengelig fra: <http://www.multiconsult.no/assets/Multiconsult-Waterpower-magazine.pdf> (Hentet 20.04.2017).
39. Smith, H., (2017) *Intervju*. Multiconsult ASA. Skøyen.
40. Strand, S., (2017). *Skanska og Rambøll: Stålkontroll med tegningsløs armering*. Tilgjengelig fra: <http://www.bygg.no/article/1316024> (Hentet: 07.06.2017).
41. Sødal, A. (2014). *Early Contractor Involvement: Advantages and Disadvantages for the Design Team*. Master Thesis. Norges Naturvitenskapelig Universitetet. Tilgjengelig fra: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/232963> (Hentet: 20.03.2017).
42. Thagaard, T. (2013). *Systematikk og innlevelse: en innføring i kvalitativ metode*. 2. utgave Bergen: Fagbokforlaget.
43. Ulfsnes, M. K. og Danielsen, U., (2004). Iveretakelse av branntekniske krav i byggeprosessen. Tilgjengelig fra: [http://www.ovelse.no/Global/Publikasjoner/FoU/NBL\\_A04102.pdf](http://www.ovelse.no/Global/Publikasjoner/FoU/NBL_A04102.pdf) (Hentet: 18.04.17).
44. Wigen, R. (2007). *Bygningsadministrasjon*. Bergen: Fagbokforlaget.
45. Yin, R. K. (2013). *Case study research: design and methods*. Thousand Oaks, Calif.: Sage.

## 9 Vedlegg

### VEDLEGG 1 – INTERVJU IFM. MASTEROPPGAVE VED NMBU

Norsk byggenæring sliter med å øke produktiviteten, og «tegningsløs byggeplass» med modellbasert bygging er tenkt som ett av grepene for å øke effektiviteten og kvaliteten på norske byggeplasser. Enkelte rådgivere har i totalentreprisekontrakter sammen med entreprenører fått til å levere modellbasert byggeunderlag som entreprenørene har kunnet bruke uten å gå veien om tegninger.

**Denne prosjektoppgaven har derfor som mål å besvare følgende**

#### **FORSKNINGSSPØRSMÅL:**

- Vil tegningsløse byggeplassen effektivisere byggeprosessen og hvilke forutsetninger er nødvendige i så fall?
- Hvem burde endre sin arbeidsmetode for å få det til?
- Hva må ligge til grunn for at modellbasert prosjekt skal fungere?
- Hvor er det vi lykkes i dag? Hvor kunne vi bli bedre?

#### **OM MEG SELV OG OPPGAVEN:**

Navnet mitt er Olga Budarina og jeg går i 5.klasse på master ved NMBU. Jeg går hovedprofil Bygningsplanlegging innenfor studieretningen Byggeteknikk og Arkitektur. Dette intervjuet danner det empiriske grunnlaget for en masteroppgave som jeg skriver ved NMBU. Forskningsmetoden som brukes er kvalitativ metode og intervjuene vil danne grunnlag for oppgavens resultater og diskusjon. På forhånd er det utført et litteraturstudium av relevant litteratur, og intervju spørsmålene er utformet i lys av dette.

Ved tillatelse av respondenten blir det tatt videoopptak under en samtale, og intervju blir transskribert i etterkant. Anslått tid er 45-60 minutter.

#### **INTERJUPLAN:**

##### *1. Rammesetting*

Uformell samtale (2-5 minutter)

Informasjon om prosjektet og problemstillingen

##### *2. Erfaringer*

Overgangsspørsmål (5-10 minutter)

Avdekke erfaring og kjennskap til problemstillingen

##### *3. Fokusering*

Nøkkelspørsmål (30-40 minutter)


Oppfølgingsspørsmål ellers sjekklister

##### *4. Tilbakeblikk*

Oppsummering (5-10 minutter)

## VEDLEGG 2 – INTERVJUGUIDER (INDIVIDUELT, SEMISTRUKTURERT)

1. Hva er entrepriseform i prosjektet?
2. Hvem styrer prosjekteringen?
3. Hvilke incentiver har partene for å samarbeide om prosjekteringen? Like forutsetninger i kontrakten?
4. Hva er tiltakshavers viktigste resultatmål i prosjektet?
5. På dette prosjektet, hvilke resultater har det medført?
  - a. På kostnadsestimering
  - b. På feil
  - c. I risikoanalysene
  - d. På fremdrift
  - e. På informasjonsflyt og kommunikasjon
6. Hvordan har samarbeidet fungert? Har alle aktørene vært like motivert?
7. Hva opplever du som de største fordelene med at prosjekt bygges basert på modell uten tegninger?
8. Ser du noen ulemper knyttet til valg av tegningsløs produksjon? Hva kan gjøres for å redusere ulempene?
9. Hvilke forutsetninger må ligge til grunn for at modellbasert prosjekt skal fungere for rådgiver og entreprenør? Hva gjorde dere ved start av prosjektet? Hva er deres erfaringer? Hva hadde dere gjort annerledes neste gang?
10. Hvilke verktøy var brukt for modellering og samhandling? Hvilke filformater?
11. Hvilke arbeidsrutiner hos dere måtte endres for å få det til? Med tanke på:
  - a. Modellens (og informasjonens) kvalitet og ferdighetsgrad
  - b. Gjennomføring og dokumentasjon av kvalitetsstyring i modell
  - c. Endringer og revisjoner
  - d. Informasjonsflyt
  - e. Kostnadsutvikling samt fase- og fremdriftsstyring
  - f. Digital dataflyt mellom alle aktører
12. Er det noe vi ikke har dekket?



Har du noen eksempler fra prosjekter?

## VEDLEGG 3 – OPPGAVEFORMULERING

Norsk byggenæring sliter med å øke produktiviteten, og «tegningsløs byggeplass» med modellbasert bygging er tenkt som ett av grepene for å øke effektiviteten og kvaliteten på norske byggeplasser. Enkelte rådgivere har i totalentreprisekontrakter sammen med entreprenører fått til å levere modellbasert byggeunderlag som entreprenørene har kunnet bruke uten å gå veien om tegninger (eksempler er Smibelg og Storåvatn kraftverk (SMISTO): Multiconsult og Hæhre, Vamma kraftverk: Norconsult og AF Gruppen).

Bygging fra modell krever en utvidet systematikk og utvidet behov for informasjon og parametere i modellen. Dette omfatter blant annet oversikt over modellens (og informasjonens) kvalitet og ferdighetsgrad, systematikk for gjennomføring og dokumentasjon av kvalitetsstyring i modell, systematikk for endringer og revisjoner, systematikk for informasjonsflyt, forståelse for entreprenørens mottaksapparat samt personellens og utstyrets inputbehov, systematikk for kostnadsutvikling samt fase- og fremdriftsstyring, systematikk for digital dataflyt mellom alle aktører osv.

Forståelse for leveransen og entreprenørens behov:

Når en fagarbeider går i hyllen og velger seg en arbeidstegning har han allerede implisitt gjort noen valg:

1. Han har valgt fag
2. Han har valgt område
3. Han vet hvilken detaljgrad som trengs for å vise den informasjonen han trenger.
4. Han har valgt et produkt som er tilpasset og kvalitetssikret ift punktene 1-3.

Hvordan skal fagarbeideren få tilgang, på en enkel måte, til den informasjonen i modellen han normalt finner på en arbeidstegning?

Dagens visningsløsninger er tilpasset modellkontroll (Solibri), byggeplasskontroll (Dalux/Rendra) eller generell visualisering (360 Glue). Dette er en «propp» i modellbasert informasjonsutveksling mht utførelse. Det er ingen software som spør: Hvem er du og hvor skal du jobbe i dag og på bakgrunn av det gir en 3d-visning som samsvarer med «tradisjonelle tegninger». Systematikk og verktøy som løser dette er meget viktig for å komme videre.

Oppgaven:

«Hvilke grep må tas hos norske rådgivere for at norsk byggenæring skal lykkes med modellbasert bygging?»

Redegjøre for forskning gjort med hensyn til modellbasert bygging.

Undersøke norske og internasjonale erfaringer med modellbasert bygging.

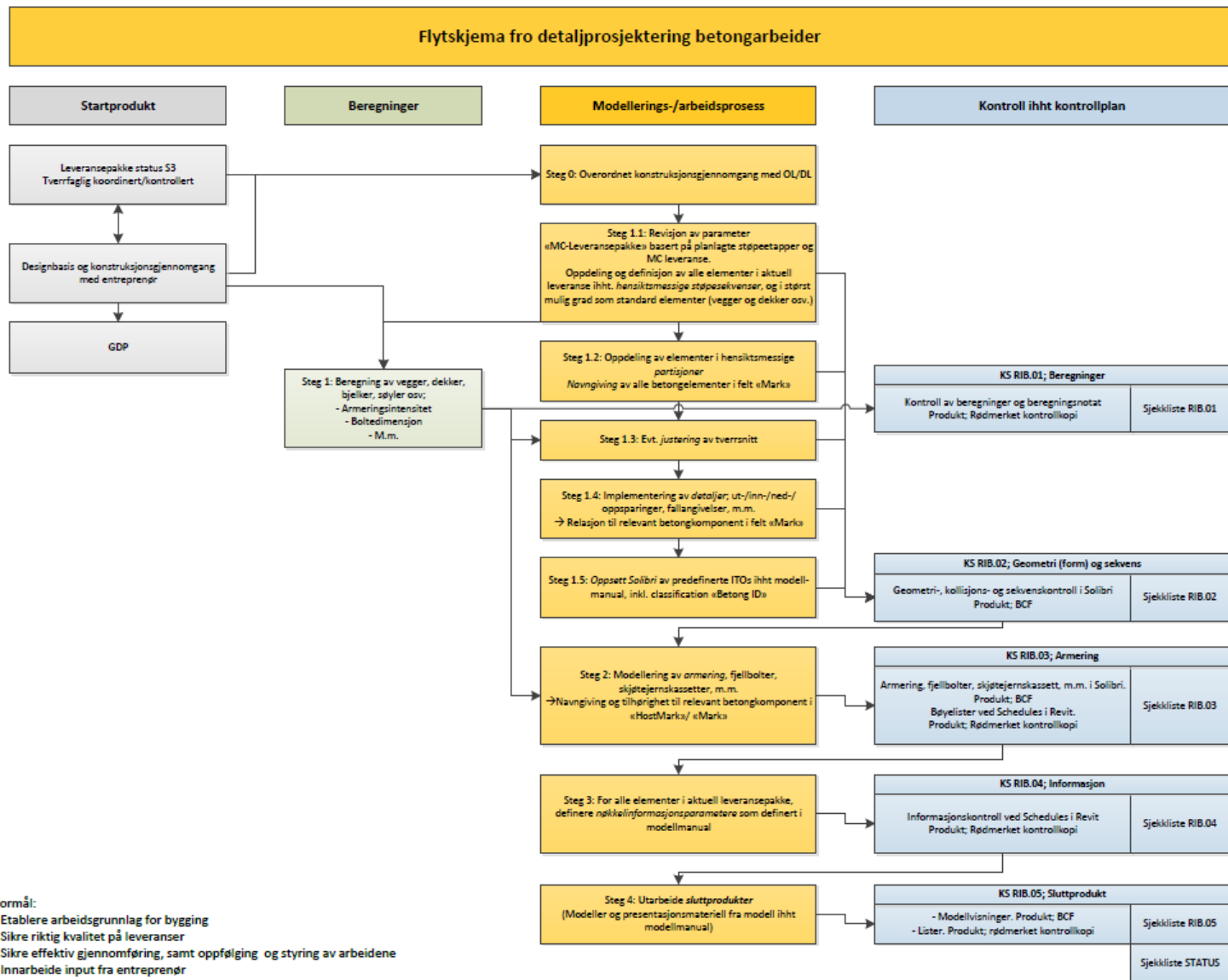
Anbefale tiltak basert på funn.



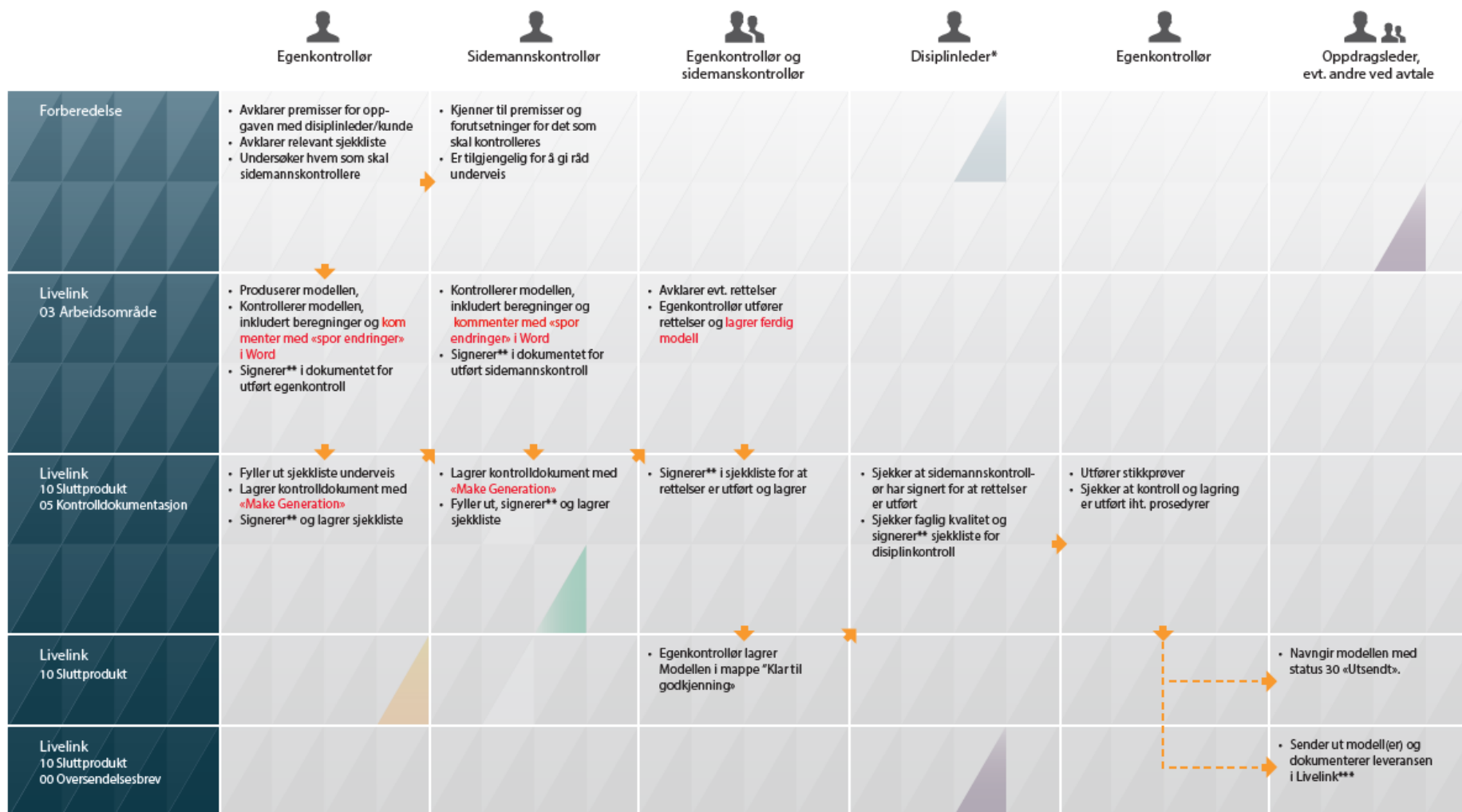
## VEDLEGG 4 – MMI - VERDIER

	100	200	300	350	400	500
	Idé	Foredlet idé	Klar for tverrfaglig kontroll	Utført tverrfaglig koordinering	Produksjons-underlag	Som bygget
<b>Prosess</b>	Objektet er fremstilt som en skisse for visualisering og analyse.	Objektet er videre bearbeidet fra idé. Objektet er foreløpig valgt som løsning.	Objektet er kontrollert for konflikter mot andre objekter i egen disiplin. Alle objekter av tverrfaglig betydning skal være representert i modellen.	Objektet er tverrfaglig koordinert mot alle andre disipliner i prosjektet/området. Ingen gjenstående tverrfaglige konflikter.	Objektet er godkjent av prosjektgruppen og klar for produksjon/bygging.	Objektet er bekreftet bygget.
<b>Geometri</b>	Det stilles ikke krav til annet enn volumobjekter.  Objektet er å betrakte som en skisse selv om det er modellert med tilsynelatende nøyaktig og detaljert geometri.	Objektet er grafisk framstilt i BIM-modellen som et generisk system, objektet har omtrentlige mengder, størrelse, form, plassering og orientering.	Objektet er grafisk fremstilt i BIM-modellen som et bestemt system med riktig størrelse, form, plassering og orientering.	Objektet er grafisk fremstilt i BIM-modellen som et bestemt system med riktig størrelse, form, plassering og orientering.	Objektet er grafisk fremstilt i BIM-modellen som et bestemt system med riktig størrelse, form, plassering og orientering med detaljert utførelse.	Objektet er grafisk fremstilt i BIM-modellen og tilsvarer hver komponent i en konstruksjon/system. Objektet har riktig størrelse, form, plassering og orientering med detaljert utførelse.
<b>Informasjon</b>	Det stilles ingen krav til informasjonen i objektet.	Objektet inneholder forslag til materialvalg. Navngiving av objekttyper iht. modelleringskrav.	Objektet inneholder riktige materialer og informasjon iht. til modelleringskrav.	Objektet inneholder riktige materialer og informasjon iht. til modelleringskrav.	Objektet inneholder i tillegg produksjonsrelatert informasjon i henhold til modelleringskrav.	Fabrikant, sammenføringer og informasjon om installasjon skal være modellert/vedlagt objektet.








## VEDLEGG 5 – FLYTSKJEMA FOR DETALJPROSJEKTERING BETONGARBEIDER PÅ SMISTO PROSJEKTET



## VEDLEGG 6 – FLYTSKJEMA FOR KONTROLL AV MODELLER OG LAGRING AV KONTROLLDOKUMENTASJON



## VEDLEGG 7 – STATUSNIVÅER SOM BRUKES I MULTICONSULT PROSJEKTER

Status	Definisjon	Farge
S0	<b>Identifisert behov</b> Styringsobjektet er kun identifisert som mulig geometri og plassering i modell.	
S1	<b>Foreløpig informasjon</b> Styringsobjektet er definert med foreløpig plassering og geometri. Styringsobjektet er kontrollert i egen disiplin.	
S2	<b>Klart til tverrfaglig kontroll</b> Styringsobjektet har frosset grunnlagsinformasjon, har riktig plassering og maksimale ytre grenser for geometri er definert. Styringsobjektet er kontrollert i egen disiplin og er klart for tverrfaglig kontroll	
S3	<b>Frys</b> Kommentarer fra tverrfaglig kontroll er implementert. Styringsobjektet har endelig form og plassering. Grensesnitt mot andre styringsobjekter og disipliner er frosset. Styringsobjektet fryses og blir premissgivende i videre prosess. Detaljering mot S4 skal ikke påvirke andre disipliner og objekter.	
S4	<b>Utgitt for anbud/kontrahering</b> Nødvendig detaljprosjektering av styringsobjektet er gjennomført. Styringsobjektet er utgitt for anbud/kontrahering.	
S5	<b>Utgitt for bygging</b> Detaljprosjektering av styringsobjektet er fullført. Relevant leverandørinformasjon er lagt til. Styringsobjektet er utgitt for bygging.	
S6	<b>«As-built»</b> Styringsobjektet er oppdatert med nødvendig informasjon fra prefabrikasjon, installasjon og testing.	





Norges miljø- og biovitenskapelig universitet  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway