

Magnus Haugsand

# Effektivt ingeniørarbeid med BIM

Trondheim, 14. juni 2010



Magnus Haugsand

# Effektivt ingeniørarbeid med BIM

Masteroppgave

Trondheim, juni 2010

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi  
Institutt for konstruksjonsteknikk

Hovedveileder: Tor G. Syvertsen





## MASTEROPPGAVE 2010

FAGOMRÅDE: Konstruksjonsinformatikk	DATO: 14.06.2010	ANTALL SIDER: 78
--	---------------------	---------------------

TITTEL:

### Effektivt ingeniørarbeid med BIM

Efficient engineering with BIM

UTFØRT AV:

Magnus Haugsand



SAMMENDRAG:

Byggebransjen har etter innføringen av datamaskiner hatt liten vekst i lønnsomhet sammenlignet med andre bransjer. BIM — *byggningsinformasjonsmodellering* — er en teknologi som kan fornye hele bransjen. Men selv om BIM har blitt innført, gjennomføres prosjekteringen fortsatt med tradisjonelle metoder. Denne masteroppgaven ønsker å undersøke hvordan informasjonen i en byggningsinformasjonsmodell kan utnyttes mer effektivt, og hvordan arbeidsmetodene må utformes for å oppnå dette.

For å definere hva som er god bruk av BIM, utarbeides det en helhetlig BIM-løsning for fremtiden, som bygger på 7 grunnprinsipper. Løsningen baserer seg på at all informasjon skal være tilgjengelig på sentrale servere, og at modellen er utformet som en database.

Masteroppgaven har byggeteknisk prosjektering hos det rådgivende ingeniørfirmaet COWI Trondheim som utgangspunkt. COWI kan oppnå fordeler ved å tilpasse dagens arbeidsmetoder og utnytte de mulighetene dagens BIM-verktøy kan tilby. Men for å få fullt utbytte av BIM, er COWI nødt til å utvikle nye arbeidsmetoder og verktøy.

Det fundamentale problemet med dagens BIM-løsninger, er at alle modelleringsverktøy bygger på ulik kodebase med forskjellige objektklassedefinisjoner. IFC som filoverføringsformat er ingen løsning på dette problemet, og en fullverdig løsning som utnytter BIM sitt potensial må bygges opp fra grunnen av. Effektiv prosjektering med BIM forutsetter også bruk av samprojektering.

FAGLÆRER: Professor Tor G. Syvertsen (NTNU)

VEILEDER: Ingrid Alvsåker (COWI)

UTFØRT VED: Institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU

## **MASTEROPPGAVE 2010**

for

*stud. techn. Magnus Haugsand*

### **Effektivt ingeniørarbeid med BIM**

*Efficient engineering with BIM*

#### **Problemstilling**

COWI sin avdeling for byggeteknikk har tatt i bruk verktøy med BIM-støtte, men det er foreløpig ikke gjort forsøk for å endre arbeidsmetoder som følge av overgangen til BIM.

- Kan informasjon lagret i en bygningsinformasjonsmodell utnyttes bedre enn i dag?
- Må dagens arbeidsmetoder endres for å få fullt utbytte av BIM?

#### **Angrepsmåte**

Kandidaten skal gjøre seg kjent med COWI sine nåværende arbeidsmetoder ved intervju og observasjoner på deres kontorlokaler. Kandidaten skal samtidig gjøre seg kjent med relevante verktøy, og foreslå en optimal BIM-løsning som på lang sikt bør tilnærmes.

#### **Resultat**

Kandidaten skal utarbeide en rapport som inneholder forslag til konkrete tiltak COWI kan gjennomføre. Det kan gjerne utarbeides alternative løsninger, rangert etter hvor krevende de er å gjennomføre. Løsningene skal påpeke hvordan kommunikasjon innad i bedriften kan forbedres, og bruk av aktuelle verktøy.

Oppgaven kan underveis tilpasses arbeidets forløp og kandidatens interesser.

Besvarelsen organiseres i henhold til gjeldende retningslinjer for masteroppgaver ved institutt for konstruksjonsteknikk.

*Kontaktperson hos bedrift:* Ingrid Alvsåker

*Veileder:* Tor G. Syvertsen

Besvarelsen skal leveres til Institutt for konstruksjonsteknikk senest 14. juni 2010

Trondheim, 18. januar, 2010

Tor G. Syvertsen, faglærer

# Sammendrag

Byggebransjen har etter innføringen av datamaskiner hatt liten vekst i lønnsomhet sammenlignet med andre bransjer. BIM — *byggningsinformasjonsmodellering* — er en teknologi som kan fornye hele bransjen. Men selv om BIM har blitt innført, gjennomføres prosjekteringen fortsatt med tradisjonelle metoder. Denne masteroppgaven ønsker å undersøke hvordan informasjonen i en byggningsinformasjonsmodell kan utnyttes mer effektivt, og hvordan arbeidsmetodene må utformes for å oppnå dette.

For å definere hva som er god bruk av BIM, utarbeides det en helhetlig BIM-løsning for fremtiden, som bygger på 7 grunnprinsipper. Løsningen baserer seg på at all informasjon skal være tilgjengelig på sentrale servere, og at modellen er utformet som en database.

Masteroppgaven har byggeteknisk prosjektering hos det rådgivende ingeniørfirmaet COWI Trondheim som utgangspunkt. COWI kan oppnå fordeler ved å tilpasse dagens arbeidsmetoder og utnytte de mulighetene dagens BIM-verktøy kan tilby. Men for å få fullt utbytte av BIM, er COWI nødt til å utvikle nye arbeidsmetoder og verktøy.

Det fundamentale problemet med dagens BIM-løsninger, er at alle modelleringverktøy bygger på ulik kodebase med forskjellige objektklassedefinisjoner. IFC som filoverføringsformat er ingen løsning på dette problemet, og en fullverdig løsning som utnytter BIM sitt potensial må bygges opp fra grunnen av. Effektiv prosjektering med BIM forutsetter også bruk av samprosjektering.

# Forord

Denne rapporten er utarbeidet ved Institutt for konstruksjonsteknikk, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) våren 2010.

Masteroppgaven er en fortsettelse av en prosjektoppgave utført høsten 2009 ved samme institutt. Prosjektoppgaven var i hovedsak et litteraturstudie av BIM, og ga meg grunnlag for å vurdere BuildingSMART-teknologiens kvalitet og nytte.

Gjennom arbeid med masteroppgaven har jeg fått bruk for det teoretiske fundamentet fra prosjektoppgaven, ved å undersøke hvordan bruk av BIM fungerer i praksis hos COWI Trondheim.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder Tor G. Syvertsen, som alltid har vært tilgjengelig og kommet verdifulle innspill til oppgaven. Takk til Ingrid Alvsåker, Geir-Åge Mikalsen og Håkon Dahle som har gitt meg en innføring i hvordan prosjektering av bygninger gjennomføres hos COWI.

Trondheim, 14. juni 2010

Magnus Haugsand

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>i</b>
<b>Forord</b>	<b>ii</b>
<b>Innhold</b>	<b>iii</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Oppgavebeskrivelse . . . . .	2
1.2 Tidligere arbeid . . . . .	2
<b>2 Bakgrunn</b>	<b>3</b>
2.1 Grunnprinsipper . . . . .	3
2.2 Kommunikasjonsmodeller . . . . .	5
2.3 Samprosjektering . . . . .	8
2.4 BIM og BuildingSMART . . . . .	10
<b>3 BIM-løsning for fremtiden</b>	<b>14</b>
3.1 Sentralisert informasjon . . . . .	15
3.2 Bygningsinformasjonsmodellen . . . . .	16
3.3 Verktøy . . . . .	17
3.4 Serverens funksjonalitet . . . . .	18
3.4.1 Bruker- og versjonskontroll . . . . .	18
3.4.2 Kommunikasjon . . . . .	18
3.4.3 Sikkerhet . . . . .	19
3.4.4 Integreerte verktøy . . . . .	19
3.5 Bruk av BIM-løsningen . . . . .	19
3.5.1 Bruk av modelleringsverktøy . . . . .	20
3.5.2 Bruk av beregningsverktøy . . . . .	20
3.5.3 Parallele modeller med felles komponenter . . . . .	21
3.5.4 Samtidig arbeid på modellen . . . . .	22
3.5.5 Behandling av fagmodeller . . . . .	23
3.6 utfordringer . . . . .	23

---

<b>4</b>	<b>COWI Trondheim</b>	<b>24</b>
4.1	Ny barneavdeling ved Ålesund Sjukehus . . . . .	25
4.2	Erfaringer med BIM . . . . .	26
4.3	Prosjektering med BIM . . . . .	27
4.3.1	Byggeteknisk skisseprosjekt . . . . .	30
4.3.2	Byggeteknisk forprosjekt . . . . .	31
4.3.3	Byggeteknisk detaljprosjekt . . . . .	32
4.4	Lastforutsetninger . . . . .	32
4.5	Dimensjonering . . . . .	34
4.6	Modellering og tegningsproduksjon . . . . .	38
4.7	Helhetsvurdering . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Verktøy</b>	<b>43</b>
5.1	Autodesk Revit Structure . . . . .	44
5.2	Autodesk Robot Structural Analysis . . . . .	47
5.3	AutoCAD Structural Detailing . . . . .	49
5.4	Autodesk Navisworks . . . . .	51
5.5	Solibris BIM-verktøy . . . . .	53
5.6	Building Information Modelserver . . . . .	55
5.7	Oppsummering . . . . .	56
<b>6</b>	<b>Nye arbeidsmetoder</b>	<b>58</b>
6.1	Med dagens BIM-verktøy . . . . .	58
6.1.1	Konstruksjonsdetaljer . . . . .	59
6.1.2	Dimensjoneringsverktøy . . . . .	60
6.1.3	Tverrfaglig samarbeid . . . . .	60
6.1.4	Infrastruktur . . . . .	61
6.1.5	BuildingSMART . . . . .	61
6.2	Med fremtidens BIM-løsning . . . . .	61
6.2.1	Teknologi . . . . .	62
6.2.2	Verktøy . . . . .	63
6.2.3	Arbeidsprosesser . . . . .	63
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>65</b>
	<b>Bibliografi</b>	<b>67</b>
	<b>Vedlegg</b>	<b>72</b>
<b>A</b>	<b>Forkortelser</b>	<b>72</b>
<b>B</b>	<b>Hovedmål for bruk av BIM</b>	<b>73</b>
<b>C</b>	<b>Kollektiv intelligens</b>	<b>74</b>

---



# Kapittel 1

## Innledning

*Empire State Building*, verdens høyeste bygning frem til 1972, ble i 1931 innviet etter en byggeperiode på 16 måneder. *Trump International Hotel and Tower*, en moderne skyskraper av tilsvarende størrelse, ble innviet i januar 2009, 45 måneder etter byggestart (Council on Tall Buildings and Urban Habitat, 2010). På 78 år har byggetiden økt med over 180 %, i en periode der andre bransjer har opplevd revolusjonerende endringer på grunn av utbredelsen av datamaskiner. Årsaken til at byggetiden har økt er sammensatt:

- Det har blitt større fokus på helse, miljø og sikkerhet. Fem personer døde under oppføringen av Empire State Building, noe som var langt færre enn forventet. I dag er dødsfall under bygging uakseptabelt. (McGraw-Hill Construction, 1999)
- Lover og regelverk har blitt mer omfangsrrike. (Kommunal- og arbeidsdepartementet, 1995)
- Arbeidskraft har blitt dyrere. Empire State Building ble bygd under depresjonen, som var preget av høy arbeidsledighet. (Ayers et al., 2008)
- Dagens bygninger består av flere komponenter og systemer enn tidligere, blant annet ventilasjon, elektrisitet og datanettverk. (Bachman, 2008)

Hele bygningsprosessen, deriblant prosjektering, bygging og drift, har blitt mer sammensatt og komplisert. Samtidig har ikke byggebransjen tilpasset seg, og utviklet nye arbeidsmetoder for å takle den økende kompleksiteten. Det kan oppstå flere feil i en komplisert bygning enn i en enkel bygning, og SINTEF har anslått at skadene etter byggefeil i Norge beløper seg til fire milliarder kroner i året (Dagens Næringsliv, 2009). Mange skader oppstår som følge av dårlig håndverk, mens andre kan spores tilbake til feilprosjektering.

BIM — *bygningsinformasjonsmodellering* — er en teknologi som potensielt kan løse mange problemer. Denne oppgaven handler om hvordan prosjektering av bygninger kan bli bedre ved å ta i bruk prinsipper fra BIM. For å få fullt utbytte av oppgaven, bør leseren ha grunnleggende kjennskap til BIM og BuildingSMART.

## 1.1 Oppgavebeskrivelse

Den mest åpenbare forskjellen mellom BIM og tradisjonell prosjektering, er at det utarbeides 3D-modeller i stedet for 2D-tegninger. Den forskjellen som derimot kan komme til å bety mest, er at bygningsinformasjonsmodeller inneholder mer enn bare geometri. Hver eneste bygningskomponent er et eget objekt, og kan for eksempel ha informasjon om materialtype, varmekonduktivitet og varenummer. Tradisjonell prosjektering legger ikke opp til at denne informasjonen i stor grad utnyttes. I den sammenheng ønsker masteroppgaven å berøre følgende problemstillinger:

- Kan informasjon lagret i en bygningsinformasjonsmodell utnyttes bedre enn i dag?
- Må dagens arbeidsmetoder endres for å få fullt utbytte av BIM?

For å begrense oppgavens omfang, er det sett nærmere på hvordan den byggetekniske disiplinen kan bruke en modell. Det er gjennomført tre delstudier:

1. Det er utviklet en helhetlig BIM-løsning som inneholder eksempler på god bruk av BIM.
2. Det er undersøkt hvordan byggeteknisk prosjektering utføres hos COWI Trondheim, med utgangspunkt i prosjekteringen av ny barneavdeling ved Ålesund Sjukehus.
3. Dagens BIM-verktøy er kartlagt for å finne ut hvilke funksjoner og begrensninger de har.

Resultatene fra delstudiene danner grunnlaget for to ulike forslag til hvordan COWI kan endre sine arbeidsmetoder, for å bedre utnytte BIM sitt potensial. Både en kortsiktig og en langsiktig løsning.

## 1.2 Tidligere arbeid

Masteroppgaven bygger på oppdagelser og innsikt fått gjennom arbeid med prosjektoppgaven *BuildingSMART: Status og fremtid* (Haugsand, 2009). Prosjektoppgaven vurderte BuildingSMART-teknologiens kvalitet og nytte, og konkluderte med følgende:

- BuildingSMART tar utgangspunkt i en kommunikasjonsmodell med en sender og mottaker, fremfor å fokusere på samprosjektering.
- IFC-modeller er ment å lagres i filer, noe som har mange svakheter.
- En sentral BIM-server som bruker en relasjonsdatabase vil være en bedre løsning enn det BuildingSMART-teknologien bygger på.

# Kapittel 2

## Bakgrunn

God kunnskap om sentral teori er en forutsetning for å kunne gjøre gode og kvalifiserte vurderinger. Dette kapitlet presenterer et teoretisk fundament som resten av rapporten bygger på, deriblant viktige grunnprinsipper, to fundamentale kommunikasjonsmodeller og betraktninger om BIM og BuildingSMART.

### 2.1 Grunnprinsipper

Et byggverk er avhengig av en solid grunnmur for å stå stødig. Tilsvarende viser det seg at velfungerende, tekniske løsninger ofte har et solid fundament i grunn. Et eksempel er utviklingen av HTML (Hypertext Markup Language), som bygger på fire prinsipper (World Wide Web Consortium, 2007). HTML er en av byggsteinene i World Wide Web, og har vist seg å fungere meget godt i praksis.

I kapittel 3 konstrueres en konseptuell BIM-løsning. For å klargjøre løsningens grunnleggende ideer og mål, defineres det her et sett med formålstjenlige grunnprinsipper. Det er tilsammen sju prinsipper:

1. Det enkle er ofte det beste.
2. Kommuniser direkte, uten mellomledd.
3. Unngå dobbeltarbeid og unødvendig informasjon.
4. Prosjektering er tverrfaglig ingeniørarbeid.
5. Løs problemer effektivt.
6. Bruk datamaskinen som et nyttig hjelpemiddel.
7. Ikke vær avhengig av administrasjon.

Prinsippene bidrar til at løsningen kan få en forutsigbar og langsiktig utvikling. Hvert prinsipp forklares nærmere i kommende avsnitt.

## 1. Det enkle er ofte det beste

En enkel og logisk løsning er lett å sette seg inn i, og er samtidig så intuitiv at omfattende dokumentasjon ikke trengs. At løsningen skal være enkel forutsetter at den bare inneholder det som er absolutt nødvendig, men heller ikke mindre. Kompliserte løsninger inneholder mange komponenter, og mangler ofte en logisk oppbygging. Risikoen for at feil oppstår er høyere enn i enkle løsninger, siden det er flere ting som kan gå galt. Å lokalisere en feil i kompliserte løsninger er dessuten mer problematisk, på grunn av stor uoversiktlighet.

## 2. Kommuniser direkte, uten mellomledd

Unngå unødvendige ledd når modellen brukes. Ved konvertering og eksportering av filer, er det alltid en risiko for at noe av informasjonen forsvinner eller blir forvrengt. Om modelleringsverktøy kommuniserer direkte med modellen, minimeres antall ledd, og det er større sannsynlighet for at all informasjon forblir inntakt. Det samme prinsippet gjelder for kommunikasjon mellom mennesker.

## 3. Unngå dobbeltarbeid og unødvendig informasjon

Samme arbeidsoppgave trenger bare å utføres én gang, og mye tid kan spares ved å gjenbruke informasjon. Unngå derfor duplikater: Informasjon skapes én gang, og brukes etter behov. Å skape informasjon det ikke er behov for, er unødvendig ressursbruk. I praksis kan dette løses ved at alle arbeider med et felles oppbevaringssted for informasjon.

## 4. Prosjektering er tverrfaglig ingeniørarbeid

Prosjektering er kreativ problemløsning der flere faggrupper er involverte, og tilsammen utgjør en kreativ helhet. Glimrende løsninger forutsetter at alle faggrupper jobber tett sammen, og har et felles, helhetlig perspektiv med tanke på tid og faglighet. Dette forutsetter en alternativ metode å jobbe på, som er nærmere forklart i kapittel 2.3 om samprosjektering. Prosjektering bør ikke betraktes som samlebåndsproduksjon, for det har aldri eksistert prosedyrer for god tenking. Prosedyrer og standarder kan sjelden bidra til noe glimrende, kun til å sikre det middelmådige.

## 5. Løs problemer effektivt

Løs problemer når de oppstår, og identifiser problemenes kjerne. Det er bedre å unngå at bygningsdeler i utgangspunktet kolliderer, enn å kjøre omfattende kollisjonskontroller i etterkant. Arbeidsmetoder som fungerer dårlig, bør forkastes.

## 6. Bruk datamaskinen som et nyttig hjelpemiddel

Datamaskiner er godt egnet til å følge regler og faste arbeidsrutiner, men er ute av stand til å komme med kreative innspill. Mennesker er derimot gode til å bruke hjernen og være kreative, men kan lett gjøre feil i repetitive og ensformige arbeidsoppgaver. Datamaskiner kan brukes til å presentere menneskers ideer og tanker, men ikke til å produsere dem. Datamaskiner og informasjon skal støtte mennesket, ikke erstatte dem. Løs problemer på den best egnede måten, uten å tenke på om det brukes en datamaskin eller ikke.

## 7. Ikke vær avhengig av administrasjon

Det er bedre å bruke tid på kreativt ingeniørarbeid enn å organisere og distribuere informasjon. Administrering av informasjon er ikke verdiskapende, og bør unngås. Administrasjon kan i de fleste tilfeller automatiseres. Hvis ikke, er det noe galt med de underliggende arbeidsprosessene.

## Metaprinsipper

Utformingen av grunnprinsippene er basert på tre metaprinsipper:

1. Det skal være få prinsipper,  $7 \pm 2$ . Helst ikke flere enn fem, slik at de kan huskes.
2. Prinsippene skal være konseptuelt enkle slik at de kan forstås og gjenfortelles uten huskeseddel.
3. Prinsippene skal være ortogonale slik at de ikke overlapper hverandre.

## 2.2 Kommunikasjonsmodeller

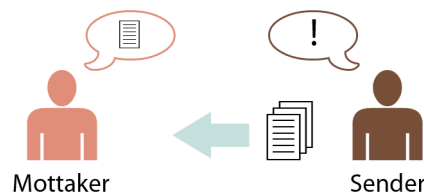
For å minimere tiden som brukes til å administrere informasjon under prosjekteringen, er det viktig at kommunikasjonen mellom prosjektdeltagerne møter så få hindringer som mulig. I dette kapittelet sammenlignes to ulike tilnærminger til deling av informasjon, der den alternative modellen har klare fordeler ved bruk av BIM.

### Tradisjonell kommunikasjonsmodell

Den tradisjonelle metoden å dele informasjon på, er at en *sender* sprer informasjonen videre til én eller flere *mottakere*. Dette kan for eksempel skje via brev, telefon, fax eller epost. Etter at kopimaskiner, og spesielt internett, ble innført, har det blitt meget enkelt å distribuere informasjon. Å videresende en e-post til  $n$  antall mottakere krever få tastetrykk. Men selv om det tar kortere tid å

sende et dokument enn tidligere, er det fortsatt like tidkrevende for mottakeren å lese det samme dokumentet. Dette kan føre til at mottakeren får tilsendt mer informasjon enn han klarer å sette seg inn i, og bruker derfor verdifull tid til å behandle informasjonen. Sender-mottaker-modellen for kommunikasjon har følgende kjennetegn:

- Senderen velger hvilken informasjon som sendes til mottakeren.
- Mottakeren kan lett bli overlesset med overflødig informasjon.
- Uklar kommunikasjon kan føre til at det tar lang tid før mottakeren får tilsendt korrekt informasjon.



Figur 2.1: Tradisjonell kommunikasjonsmodell

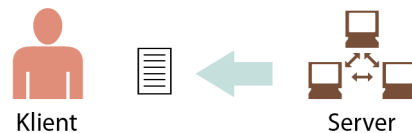
Figur 2.1 viser at mottakeren er avhengig av å få *tilsendt* det riktige dokumentet. Modellen er lite fleksibel, fordi informasjon er sterkt knyttet til fysisk beliggenhet, siden den gjerne er lagret lokalt hos prosjektdeltagerne. Selv i et prosjekt der kun én person er involvert, kan det oppstå problemer om modellen følges slavisk. Dersom personen benytter seg av to datamaskiner, én hjemme, og én på jobb, vil det gå mye tid til å overføre dokumenter fra den ene datamaskinen til den andre. Dette kan utføres rent praktisk ved hjelp av epost, minnepenn eller en ftp-server, men det trengs ekstra planlegging om den siste versjonen av dokumentene alltid skal være lett tilgjengelig der en befinner seg. Sender-mottaker-modellen er den eneste praktiske ved bruk av fysiske informasjonsmedier, men datateknologi åpner for alternative metoder.

### Alternativ kommunikasjonsmodell

Det digitale informasjonsmediet gjør det ikke bare enklere å sende informasjon, men åpner også for andre måter å dele informasjon på. I stedet for å sende informasjonen direkte til andre deltagere, kan dokumentene lagres på en sentral *informasjonsserver*. Deretter kan *klientene* logge seg på informasjonsserveren, og hente nødvendig informasjon *hvor* som helst og *når* som helst. Server-klient-modellen for kommunikasjon har følgende kjennetegn (Reese og Oram, 2000):

- En server kjører ett eller flere programmer som deler informasjon med klienter.

- Klienten deler ingen informasjon med andre, men henter nødvendig informasjon fra serveren.
- Klienten kan hente informasjon når det er nødvendig, uten å forstyrre andre.

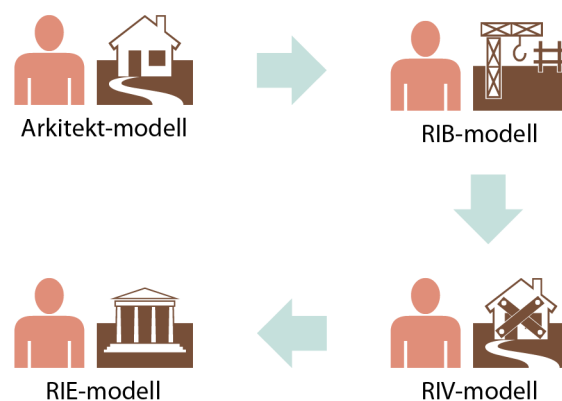


Figur 2.2: Alternativ kommunikasjonsmodell

Figur 2.2 viser at klienten på egen hånd kan hente ut et dokument, og kan derfor finne riktig informasjon på første forsøk. Det forutsettes imidlertid at serveren alltid har siste versjon av dokumentene. Klientene kan enten jobbe direkte på serveren, eller sørge for at lokale dokumenter automatisk blir synkronisert mot den.

## Tradisjonell arbeidsgang

Tradisjonelt er det sender-mottaker-modellen som brukes ved prosjektering. Figur 2.3 illustrerer at alle aktørene i prosjekteringen lager egne tegninger, som sendes videre til neste ledd i kjeden. Rådgivende ingeniør bygg (RIB) bruker for eksempel arkitekt-tegningene som grunnlag når han lager egne, nye tegninger av bygningen. Selv om arkitekten har søyler som RIB har tenkt å beholde, tegnes søylene på nytt igjen. Dette strider i mot tredje grunnprinsipp fra avsnitt 2.1: *Unngå dobbeltarbeid og unødvendig informasjon.*

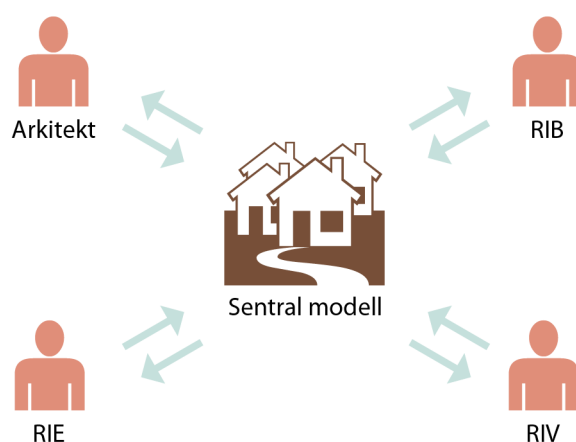


Figur 2.3: Tradisjonell arbeidsgang

Tradisjonell arbeidsgang er sekvensiell, og det forekommer ikke mye samarbeid på tvers av faggruppene. Arkitekten vil helst fullføre sitt arbeid og vise frem et ferdigstilt produkt, før han er mottakelig for kritikk og forslag til endringer.

## Ønsket arbeidsgang med BIM

En av ulempene med tradisjonell arbeidsgang, er at den baserer seg på sender-mottaker-modellen for kommunikasjon. Server-klient-modellen tilrettelegger for en ryddigere kommunikasjon med mer tverrfaglig samarbeid. I stedet for at tegninger sendes mellom de ulike aktørene i prosjekteringen, kan alle ha tilgang til en sentral modell, vist i figur 2.4. Denne metoden gjør det lettere å løse flere oppgaver parallelt. RIB kan for eksempel kontrollere bæresystemet samtidig som arkitekten modellerer bygningen, i stedet for å vente til arkitekten er ferdig med alle sine detaljer. Tilsvarende kan rådgivende ingeniør VVS (RIV) legge inn ventilasjonssystemet før alle fasader er på plass.



Figur 2.4: Ønsket arbeidsgang med BIM

Denne rapporten tar utgangspunkt i at dette er den ønskete måten å jobbe med BIM på, og det følgende kapittelet om samprosjektering forteller mer om hvilke fordeler denne arbeidsmetoden gir.

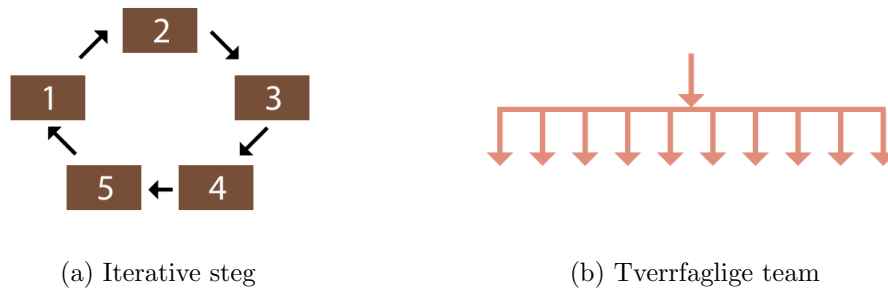
## 2.3 Samprosjektering

*Samprosjektering* er en arbeidsmetodikk basert på å gjennomføre oppgaver parallelt, og er en norsk bearbeidelse av det engelske uttrykket *concurrent engineering*. Samprosjektering har følgende kjennetegn:

- Problemer løses av en gruppe mennesker som er eksperter innen hvert sitt fagområde.
- Gruppen jobber tett sammen for å løse problemer på en kreativ og nyskapende måte. Fagspesifikke problemer løses ikke bare av den enkelte faggruppe, men løses av alle i fellesskap. (Se figur 2.5b)

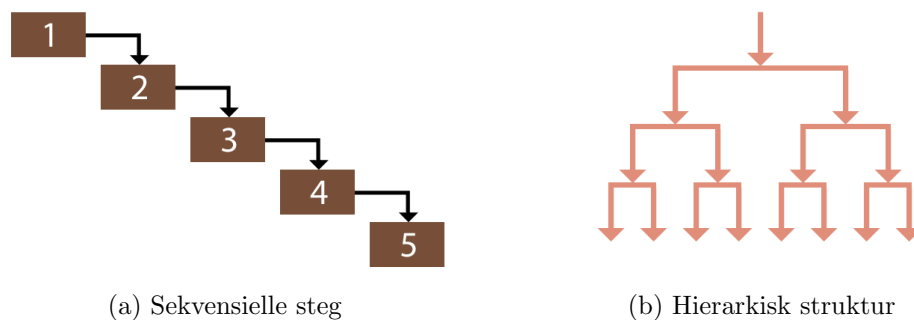


- Helt fra starten av prosjekteringen tas det hensyn til hele produktets livsløp, for å skape et mer helhetlig og gjennomført produkt.



Figur 2.5: Samprosjektering

Gruppens samlede kompetanse er godt utnyttet i samprosjektering, siden alle problemer løses i fellesskap. Dette fører også til at bidraget fra hver enkelt ekspert holder høyere kvalitet enn det som er normalt i tradisjonell prosjektering. I følge Kusiak (1993) vil ekspertene føle større eierskapsfølelse til produktet, og derfor jobbe hardere. Samprosjektering tilfredstiller også de kravene Surowiecki (2004) stiller for at en samlet gruppe yter bedre enn summen av gruppens medlemmer. Kravene stammer fra boken *The Wisdom of Crowds*, og finnes i vedlegg C.

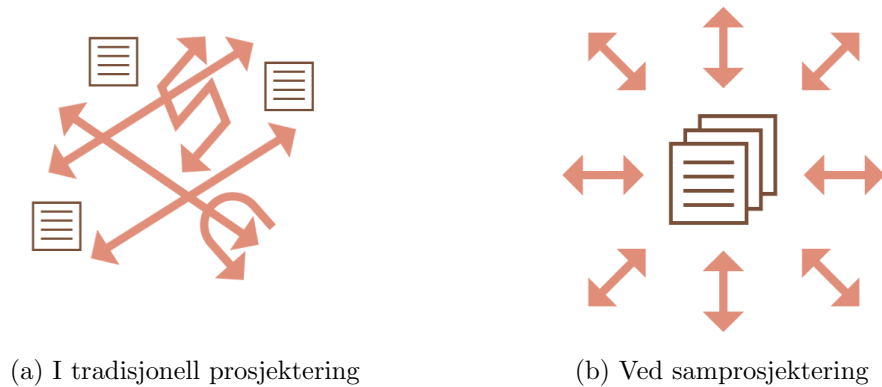


Figur 2.6: Tradisjonell prosjektering

Figur 2.5 og 2.6 viser ulikheter mellom samprosjektering og tradisjonell prosjektering. I samprosjektering itereres hvert steg i prosjekteringen om og om igjen, helt til produktet holder høy kvalitet. Potensielle feil oppdages tidlig, og det foretas flest endringer i starten av prosjekteringen. I følge Carter og Baker (1992) er det mulig å oppnå en total tidsbesparelse på 40 %, dersom prinsipper fra samprosjektering benyttes.

Server-klient-modellen for kommunikasjon er sentral i samprosjektering (figur 2.7). Prosjektdeltagerne er avhengige av å ha en ryddig utveksling av informasjon,

siden de arbeider så tett sammen. Samprosjekteringen tilfredsstiler fjerde grunnprinsipp: *Prosjektering er tverrfaglig ingeniørarbeid*. Samprosjektering gir et arbeidsmiljø uten prosedyrer som kan virke hemmende på kreativiteten, og passer utmerket dersom arbeidet foregår rundt en felles bygningsinformasjonsmodell.



Figur 2.7: Kommunikasjon under prosjektering

Samprosjektering er ikke problemfritt, og byr på utfordringer på det menneskelige og organisatoriske plan. Alle prosjektdeltagere er nødt til å bli enige om et felles mål, og må betrakte alle andre disipliner som likeverdige med sin egen. Det kan skje en kulturkollisjon når to mennesker med helt forskjellige bakgrunner møtes, og medlemmene kan ha forventninger til hverandre som ikke oppfylles. Et eksempel på en konflikt som kan oppstå er nevnt i avsnitt 4.3, der arkitekt og rådgivende ingeniører har ulike tanker om hvordan prosjekteringen bør utføres.

## 2.4 BIM og BuildingSMART

En *bygninginformasjonsmodell* er en digital, tredimensjonal representasjon av en bygning eller et bygningskompleks. Modellen inneholder informasjon som de involverte aktørene finner nyttig, for eksempel materialbruk, rominndeling, termiske egenskaper, overflateareal, volum, nødutganger, brannveier, og mye mer. Modellen brukes som tegningsgrunnlag av rådgivere og entreprenører, men vil også være sentral ved drift og vedlikehold gjennom bygningens livsløp.

En modell er satt sammen av *objekter*, for eksempel en dør, et vindu eller en søyle. Objektene har *geometri* og en *fysisk beliggenhet*, og kan også tilegnes *egenskaper*, for eksempel materialtype og varmekonduktivitet. Modellen inneholder dessuten informasjon om hvordan objektene er relatert til hverandre, og dette gjør det mulig å oppfatte at et vindu er festet til en sørvendt vegg, som igjen er koblet sammen med en vestvendt vegg og en etasjeskiller. I en tegning må betydningen av linjer og flater *tolkes* av leseren, mens i en modell er alt knyttet til objekter. En flate er for eksempel den ytre avgrensningen til en vegg,

og en strek kan være en markert rømningsvei. Denne informasjonen er en del av modellen, og må ikke eksplisitt angis ved hjelp av tegnforklaringer. For dra nytte av BIM, må tre grunnleggende elementer være på plass:

**Teknologi** Det må finnes en datamodelle som kan ta vare på og strukturere informasjon om bygningen.

**Verktøy** Programvare som kan lese og redigere modellen må ha tilstrekkelig med funksjonalitet, og være lett tilgjengelig.

**Arbeidsprosesser** Å bruke BIM fører til en annen arbeidsmetodikk innad i bedriften, og det må utvikles arbeidsprosesser med utgangspunkt i samprosjektering som tar hensyn til dette.

### Dagens status

I dag finnes det flere modelleringsverktøy som støtter BIM, deriblant ArchiCAD (Graphisoft, 2010), Microstation (Bentley, 2010b) og Revit (Autodesk, 2010d). De tre verktøyene er utviklet uavhengig av hverandre, og har så store ulikheter at de ikke uten videre er kompatible med hverandre. Selv om alle benytter seg av en bygningsinformasjonsmodell, kan ikke en modell fra Revit åpnes i ArchiCAD uten at modellen først blir modifisert.

Teknologi og verktøy er med andre ord bundet fast til hverandre. Hvordan en bygning kan modelleres avhenger av hvilken funksjonalitet verktøyet har innebygd. En praktisk implikasjon av dette er at alle aktørene i prosjekteringen blir tvunget til å benytte seg av et spesifikt verktøy, for å kunne redigere modellen.

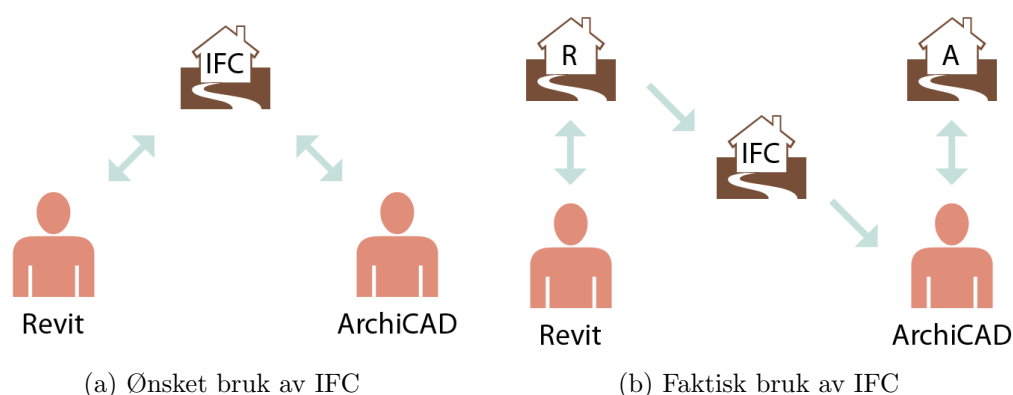
Når en BIM-løsning skal velges, fokuseres det derfor mest på *modelleringsverktøyet*. Programvareleverandørene må stadig tilby nye funksjoner og muligheter for å tiltrekke seg flere kunder. Konkurransen medfører bedre produkter, men har i dette tilfellet også en ulempe: Modellens innhold og teknologi vil endre seg fra versjon til versjon, og vil i verste fall føre til kompatibilitetsproblemer mellom to ulike versjoner av det samme verktøyet. Modellens innhold — informasjon om bygningen — står ikke i sentrum, slik det burde være med tanke på prosjekteringen.

### BuildingSMART sin oppfatning av BIM

BuildingSMART er en internasjonal organisasjon som jobber med å utvikle åpne standarder for bruk i byggeindustrien. IFC, *Industry Foundation Classes*, skal gjøre det mulig for flere aktører å samarbeide på samme modell, uavhengig av hvilket modelleringsverktøy som benyttes. IFC er en datamodelle som bygningsinformasjonen kan lagres i, og de fleste programvareleverandørene har i dag implementert IFC-støtte. Tanken til buildingSMART er at dersom alle

verktøy kan lese og skrive IFC-filer, kan alle kommunisere med hverandre, og bruke hverandres modeller. En modell laget i Revit eksporteres eksempelvis som en IFC-fil, før den åpnes og jobbes videre med i ArchiCAD eller Microstation.

Problemet presentert i forrige kapittel, er imidlertid fortsatt ikke løst. Så lenge IFC bare brukes som et format for filoverføring, vil teknologi og verktøy fortsatt være knyttet sammen. Figur 2.8 viser at verktøyene fremdeles primært bruker sin egen objektmodell. Revit sin modell konverteres til en IFC-modell, som igjen konverteres til en ArchiCAD-modell. Dersom verktøyene sin objektmodell ikke samsvarer 100 % med IFC sin objektmodell, vil det forekomme tap og forvrengning av informasjon (Pazlar, 2008).



Figur 2.8: Bruk av IFC

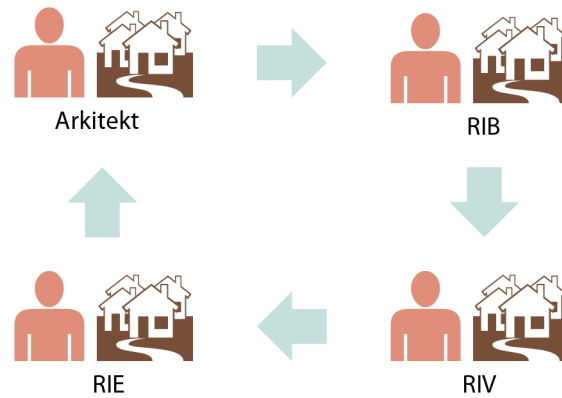
BuildingSMART tar utgangspunkt i at kommunikasjon skjer mellom en sender og en mottaker, og ikke mellom en klient og en server (avsnitt 2.2). Rapporten har tidligere berørt hvilke ulemper dette medfører, og BuildingSMART er følgelig en kortsiktig løsning, som ikke tar hensyn til det fundamentale problemet med dagens BIM. IFC er bygget på et modelleringsspråk som ikke er objektorientert, og er derfor hovedsaklig egnet til data som skal leses og tolkes, men ikke for data som skal endres og utvides (Howie et al., 1997). Så selv om modelleringsverktøyene primært benytter IFC sin objektmodell (figur 2.8a), vil ikke dette være en optimal løsning på grunn av teknologien som ligger bak IFC.

IDM, *Information Delivery Manual*, er et forsøk fra BuildingSMART på å standardisere arbeidsprosesser. IDM inneholder blant annet *prosesskart*, som detaljert beskriver arbeidsgangen under prosjekteringen. Den inneholder informasjon om hvilke oppgaver som utføres, hvilke aktører som er involverte, og hvilke data som overføres mellom aktørene. Tanken er at dersom alle til enhver tid vet hvilken informasjon som skal sendes videre, slipper senderen og mottakeren å bruke mye tid på å bli enige om hva som skal overleveres.

Det går klart frem at IDM tar utgangspunkt i sender-mottaker-modellen for kommunikasjon, og teknologien bryter samtidig med grunnprinsippet om at prosjektering er tverrfaglig ingeniørarbeid. Prosesskartene er i realiteten en

beskrivelse av samlebåndsproduksjon. Det sikrer at jobben blir gjort, men det kan ikke forventes at løsningene er av mer enn middels kvalitet. Å standardisere informasjonsbehandling er problematisk, for hvilken informasjon som trengs, varierer fra prosjekt til prosjekt. Om alle mulige tilfeller skal dekkes, blir IDM et omfattende dokument som i de fleste tilfeller inneholder overflødig informasjon. Dette er i strid med første grunnprinsipp: *Det enkle er ofte det beste*, og tredje grunnprinsipp: *Unngå dobbeltarbeid og unødvendig informasjon*.

Arbeidsgangen med BuildingSMART er en mellomting av tradisjonell arbeidsgang (figur 2.3) og ønsket arbeidsgang med BIM (figur 2.4). Figur 2.9 viser at den samme modellen kan brukes av flere aktører, ved bruk av IFC. Modellen sendes imidlertid rundt fra en sender til en mottaker, og benyttes ikke som en sentral database. Det blir mindre reproduksjon av informasjon, men det er fortsatt mye unødvendig kommunikasjon og datakonverteringsarbeid.



Figur 2.9: Arbeidsgang med BuildingSMART

## En ny tilnærming til BIM

Hele kapitlet har så langt vært inne på at dagens BIM-løsninger har fundamentale svakheter, som bør rettes opp for å utnytte BIM sitt fulle potensial. Det trengs en ny tilnærming til BIM, der modellen — med bygningsinformasjonen — settes i sentrum. Verktøy og arbeidsprosesser må tilpasses modellen, og ikke motsatt.

I neste kapittel vil det utarbeides en konseptuell BIM-løsning som gjør akkurat det, med utgangspunkt i grunnprinsippene og teorien fra dette kapitlet.

## Kapittel 3

# BIM-løsning for fremtiden

I forrige kapittel ble de nåværende, utbredte BIM-løsningene presentert. Hver programvareleverandør har lenge hatt sin egen tilnærming til BIM, og i løpet av de siste årene har BuildingSMART fått gjennomslag for sine ideer. BuildingSMART sitt fundament strider imot grunnprinsippene fra avsnitt 2.1, og det finnes i dag ingen *helhetlige* BIM-løsninger som setter bygningsinformasjonsmodellen i sentrum, og samtidig tar hensyn til både verktøy, infrastruktur og kommunikasjon.

En løsning med grunnleggende feil blir aldri god, selv om den utvides i det uendelige for å omgå problemer etter hvert som de oppstår. Ved økende kompleksitet, øker også risikoen for feil, og løsningen blir mindre oversiktlig og vanskeligere å sette seg inn i. Dette er grunnen til at denne rapporten velger å utvikle en ny og komplett BIM-løsning i tråd med de 9 grunnprinsippene, fremfor å ta utgangspunkt i dagens løsninger.

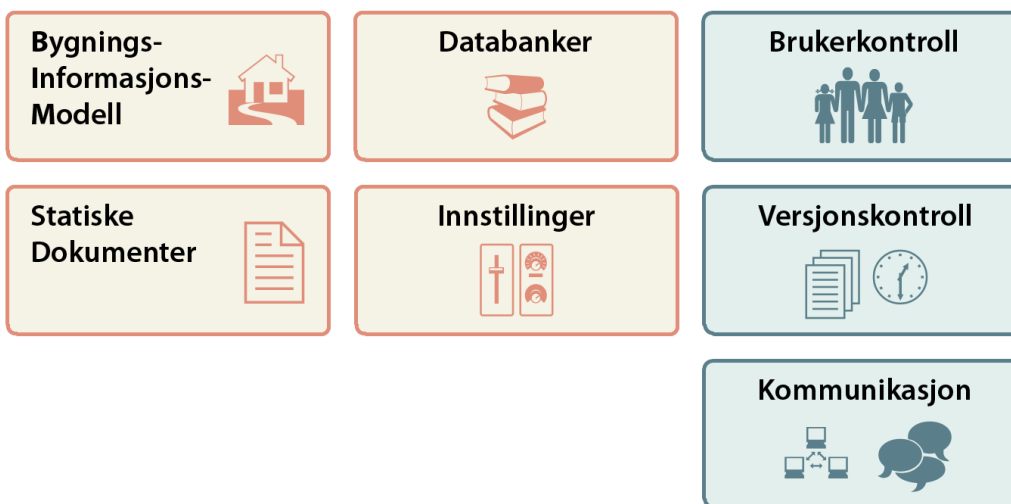
Den komplette løsningen består av fundamentale *moduler*, og beskriver hvordan de ulike modulene brukes og er koblet til hverandre. Løsningen er på makronivå, og den inneholder derfor ikke informasjon om hvordan den enkelte modul er bygd opp, eller hvordan modulene skal utføres rent teknisk.

Figur 3.1 viser en skjematisk fremstilling av hele BIM-løsningen, der alle moduler er inkludert. Det går frem av figuren at de fleste modulene befinner seg på en sentral server, som brukere kobler seg opp mot. Hensikten til hver enkelt modul vil forklares nærmere i løpet av dette kapitlet.

**Røde moduler** *Bygningsinformasjonsmodell, statiske dokumenter, databanker og innstillinger* er informasjon lagret på serveren.

**Blå moduler** *Brukerkontroll, versjonskontroll og kommunikasjon* er en del av serverens funksjonalitet.

**Grønne moduler** *Modelleringsverktøy, beregningsverktøy og nettleser* er hjelpemidler som benyttes av brukeren for å behandle informasjonen på serveren.

**MODELLSERVER****KLIENT**

Figur 3.1: Fremtidens BIM-løsning

### 3.1 Sentralisert informasjon

I sentrum av BIM-løsningen ligger server-klient-modellen for kommunikasjon: All relevant informasjon om prosjektet lagres på sentrale servere, og alle prosjekt-deltakere arbeider mot den. Avsnitt 2.2 har allerede vært inne på hvilke fordeler denne metoden gir. Alle oppdaterte filer og dokumenter ligger tilgjengelige på serveren, så det trengs ingen ekstra interaksjon mellom brukere når informasjon skal hentes. Serveren inneholder fire ulike former for informasjon:

**Bygningsinformasjonsmodell** Inneholder informasjon om bygningen, og er den delen av løsningen som tradisjonelt sett blir betraktet som BIM. Avsnitt 3.2 går nærmere inn på oppbygningen av denne. Bygningsinformasjonsmodellen er unik for hvert enkelt prosjekt.

**Databanker** Inneholder nyttig informasjon som gjerne blir brukt i flere prosjekter. Det kan for eksempel være et bibliotek med bygningskomponenter,

en database med materialpriser, eller erfaringstall over tidsbruk knyttet til oppføring av bygningen. Databankene er utformet som en database, så det er mulig å spesifisere hvilken informasjon som skal hentes ut.

**Statiske dokumenter** Kan være prosjektdokumenter fra byggherre, eller utdata fra et beregningsverktøy. De statiske dokumentene er ikke først og fremst ment til å bearbeides, men kan være rapporter eller analyseresultater som brukes til grunnlag for videre vurderinger. I motsetning til databanker, er det ikke på en enkel måte mulig å hente ut *spesifiserte deler* av dokumentets informasjon.

**Innstillinger** Består av innstillinger til programvare som er nyttig å lagre sentralt. Det kan være tidkrevende å konfigurere et verktøy til å foreta en riktig energiberegning, og fremgangsmåter som dette kan lagres sentralt for rask og effektiv gjenbruk. Innstillinger er ikke data om selve prosjektet, men er informasjon om hvordan prosjektdata kan brukes.

Det er viktig å presisere at det er selve *modellen*, og ikke en *modellfil*, som ligger på serveren. En modellfil er i utgangspunktet lukket for omverdenen, inntil den åpnes i et verktøy som støtter filformatet. Om deler av modellen skal endres, må *hele* modellfilen overføres fra og til serveren. I dette tilfellet er hele modellen tilgjengelig, så hvert enkelt objekt kan manipuleres.

## 3.2 Bygningsinformasjonsmodellen

Om BIM skal benyttes av alle som er involvert i prosjektering, bygging, drift og vedlikehold av en bygning, kommer modellen nødvendigvis til å inneholde store mengder informasjon. For at det skal være mulig å håndtere all informasjonen, uavhengig av modellens størrelse, må det stilles krav til modellens teknologi og tekniske fundament:

1. Modellen må være så enkel som mulig, i tråd med første grunnprinsipp. Den kan være oppbygd av grunnkomponentene objekter og relasjoner. Objekter har data, i form av egenskaper og tilstander, og oppførsel. Relasjoner knytter objekter til hverandre.
2. Modellen må kunne lagre meget store bygninger, uten at det går på bekostning av ytelsen. Dette impliserer at modellen bare skal inneholde viktig og relevant informasjon. Metadata, det vil si informasjon om eierskap og objektendringer, bør være en del av serveren, og ikke modellen. Dette i motsetning til IFC, som inneholder informasjon om hvem som redigerer objektene, og til hvilket tidspunkt det skjer. (IAI Tech International, 2009)



3. Modellen må kunne brukes som en database. Det må være mulig å hente ut utvalgte deler av bygningen, eller objekter innenfor spesifikke fagområder, uten at hele modellen lastes.
4. Modellen må enkelt kunne utvides om nye behov oppstår.

All informasjon trenger ikke nødvendigvis befinne seg i én, altomfattende modell. Modellene må være inndelt på en hensiktsmessig måte for å gjøre informasjonsbehandlingen så enkel som mulig. Ingen av de rådgivende ingeniørene har for eksempel bruk for en modell som inneholder informasjon om landskapet rundt bygningen.

### 3.3 Verktøy

Verktøy er redskaper som er ment å hjelpe mennesker med å gjennomføre sine arbeidsoppgaver. I BIM-sammenheng er det programvare, installert på datamaskiner, som er aktuelle verktøy. Ved utviklingen av verktøy er det viktig å ta hensyn til sjetten grunnprinsipp: *Bruk datamaskinen som et nyttig hjelpemiddel*. Datamaskinene bør støtte mennesker, og ikke erstatte dem. Denne BIM-løsningen betrakter to ulike typer verktøy: *Modelleringsverktøy* og *beregningsverktøy*. Eksempler på hvordan verktøyene kan brukes, er vist i avsnitt 3.5.

#### Modelleringsverktøy

Modelleringsverktøy brukes til å redigere modellen. Arkitekt og RIB bruker modelleringsverktøy for å legge inn søyler, dekker og fasader, og RIV/RIE bruker lignende verktøy for å legge til sine installasjoner i modellen. Det kan også brukes spesialtilpassede modelleringsverktøy til å illustrere grøntarealer, og til å angi rømningsveier ved brann.

#### Beregningsverktøy

Beregningsverktøy bruker modellen som grunnlag til å foreta beregninger og kalkulasjoner. Verktøyet henter informasjon fra modellen, men redigerer den ikke. Typiske oppgaver som faller innenfor denne kategorien er kontrollberegninger av varmetap og bæresystem. Resultat fra analysene er avhengige av hele modellens sammensetning. Om noen få søyledimensjoner endres, må hele analysen kjøres på nytt igjen. Resultatene er derfor ikke informasjon som hører hjemme i modellen, og for å spare datakraft utføres beregningene bare ved behov.

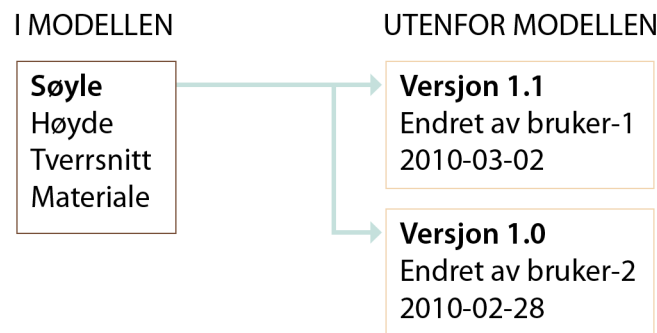
## 3.4 Serverens funksjonalitet

For at BIM-løsningen skal fungere, må serveren ha funksjonalitet utover det å lagre informasjon. Dette avsnittet inneholder en oversikt over serverens vitale funksjoner.

### 3.4.1 Bruker- og versjonskontroll

Når den samme modellen brukes av flere personer, er det essensielt å ha oversikt over hvem som har endret modellen, og når. Med versjonskontroll kan det også hentes frem tidligere versjoner av endrete objekter i modellen. Dersom det oppstår ulykker som følge av modellfeil, er det mulig å spore hvem som har det juridiske ansvaret.

Metainformasjon om objektene vil oppta unødvendig stor plass i modellen. Det gunstigste er derfor om all kontroll av brukere og objektversjoner tas hånd om av serveren. Figur 3.2 viser hvordan serveren separerer metadata fra selve modellen.



Figur 3.2: Versjonskontroll

### 3.4.2 Kommunikasjon

Serveren bør inneholde en intuitiv webportal hvor prosjektdeltakerne kan kommunisere med hverandre. Portalen kan for eksempel inneholde en oppslagstavle med viktige beskjeder, og et diskusjonsforum hvor problemer kan løses. Portalen kan i mange tilfeller erstatte e-poster og telefonsamtaler. Viktig informasjon blir umiddelbart gjort tilgjengelig for alle involverte prosjektdeltakere. Med samprosjektering (avsnitt 2.3) løses problemer av alle faggrupper i fellesskap. Det forutsetter en organisert form for kommunikasjon, der alle kan delta på lik linje.

### 3.4.3 Sikkerhet

Det er som regel sikrere å ha data lagret på en server enn på en privat datamaskin, men det er alltid en risiko for at serveren kan havarere. Det bør derfor jevnlig tas sikkerhetskopier av alt innhold, helst til servere med en annen geografisk lokasjon. Det må dessuten finnes infrastruktur som hindrer at uvedkommende får tilgang til konfidensiell informasjon.

### 3.4.4 Integrerte verktøy

Det kan være en fordel at serveren har integrerte verktøy som kan kommunisere med modellen. Et 3D-modelleringsverktøy stiller store krav til maskinvare, og er tidkrevende å starte. Serveren kan ha en integrert modellutforsker, som brukes gjennom nettleseren. Modellutforskeren kan for eksempel tilby en 3D-visning av modellen, men med begrensede redigeringsmuligheter. Det er også nyttig å ha muligheten til å endre en rekke objektegenskaper, uten å måtte se en grafisk illustrasjon av modellen. Det er ikke nødvendig å se modellen, om alle dører skal endres fra *type A* til *type B*. Figur 3.3 er et eksempel på hvordan en primitiv modellutforsker kan utformes. Brukeren velger nøyaktig hvilke typer objekter som skal hentes, og angir hvilke egenskaper som trengs.

Type objekt:	Sted:	Egenskaper:
<input type="checkbox"/> Søyle x <input type="checkbox"/> Bjelke x <input type="checkbox"/> Dør x <input type="checkbox"/> Vindu x	<input type="checkbox"/> 1. etasje x <input type="checkbox"/> 2. etasje x	<input type="checkbox"/> Geometri x <input type="checkbox"/> Type x <input type="checkbox"/> Beliggenhet x
<input type="button" value="+ Legg til kategori"/>	<input type="button" value="+ Legg til sted"/>	<input type="button" value="+ Legg til egenskap"/>

Figur 3.3: Integrert modellutforsker

Enkle beregningsverktøy kan også integreres på serveren. Mengdekalkulasjoner og kostnadsberegninger trenger for eksempel bare data fra modellen, og tar ikke hensyn til geometri. Integrerte verktøy på serveren tilrettelegger for effektiv prosjektering, og følger andre grunnprinsipp: *Kommuniser direkte, uten mellomledd.*

## 3.5 Bruk av BIM-løsningen

Dette kapittelet har så langt beskrevet BIM-løsningens tekniske detaljer, men har ikke sagt noe om hvordan den skal brukes. Det finnes ingen konkrete beskrivelser om hvilke arbeidsprosesser som skal følges, og det er heller ikke intensjonen. BIM-løsningen er et rammeverk for prosjektering, med en målsetning om å åpne

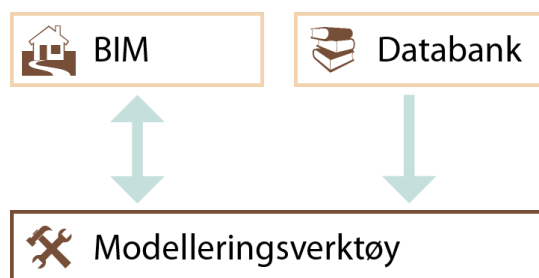
mulighetene for å bedrive kreativt ingeniørarbeid, uten begrensninger. Hvordan løsningen i praksis brukes, er opp til hver enkelt prosjekteringsgruppe.

Nedenfor følger eksempler på hvordan BIM-løsningen kan brukes. Disse er inkludert for å teste løsningen sin holdbarhet, og samtidig vise hvilke muligheter den gir.

### 3.5.1 Bruk av modelleringsverktøy

Modelleringsverktøyenes bruksområde er å redigere modellen. Figur 3.4 viser et eksempel på hvordan BIM-løsningen kan brukes til å legge til en dør i bygningen:

1. Brukeren henter det han trenger av informasjon fra den sentrale modellen.
2. Brukeren henter en standarddør fra et databank med bygningskomponenter.
3. Brukeren legger til døren på valgt sted, og oppdaterer den sentrale modellen. Dør-objektet inneholder en referanse til databanken.



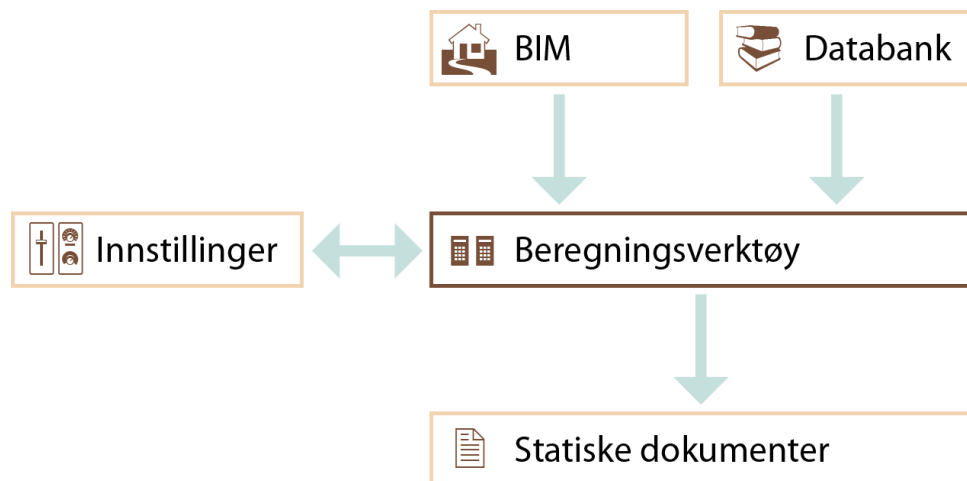
Figur 3.4: Bruk av modelleringsverktøy

### 3.5.2 Bruk av beregningsverktøy

Beregningsverktøy bruker modellen til å utføre kalkulasjoner. Figur 3.5 viser hvordan BIM-løsningen kan brukes til å finne ut hvor mye det koster å oppføre alle betongsøylene til en bygning:

1. Brukeren henter informasjon om alle betongsøyler fra modellen.
2. Brukeren finner kostnader knyttet til materialinnkjøp og bygging fra databanker.
3. Brukeren oppretter en beregningsmodell, og lagrer innstillingene på serveren.

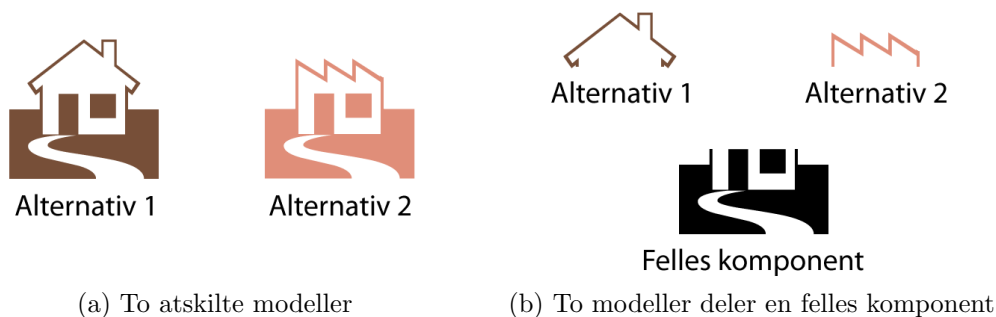
4. Beregningsverktøyet skriver ut et statisk dokument med opplysninger om hvor mye det koster å oppføre betongsøylene.
5. Neste gang kostnadsberegningen skal kjøres, kan de lagrede innstillingene lastes inn, og brukeren slipper dermed å bruke tid på å lage en ny beregningsmodell.



Figur 3.5: Bruk av beregningsverktøy

### 3.5.3 Parallelle modeller med felles komponenter

En vesentlig del av prosjekteringen er å utvikle flere alternativer, og til slutt velge den løsningen som fremstår som den beste. Et relevant spørsmål i denne sammenheng, er hvor mye tid det er fornuftig å bruke på alternativ som senere skal forkastes. Det gir et større beslutningsgrunnlag om det gjøres en grundig jobb med hvert alternativ, men det er samtidig mer kostnadskrevenende.



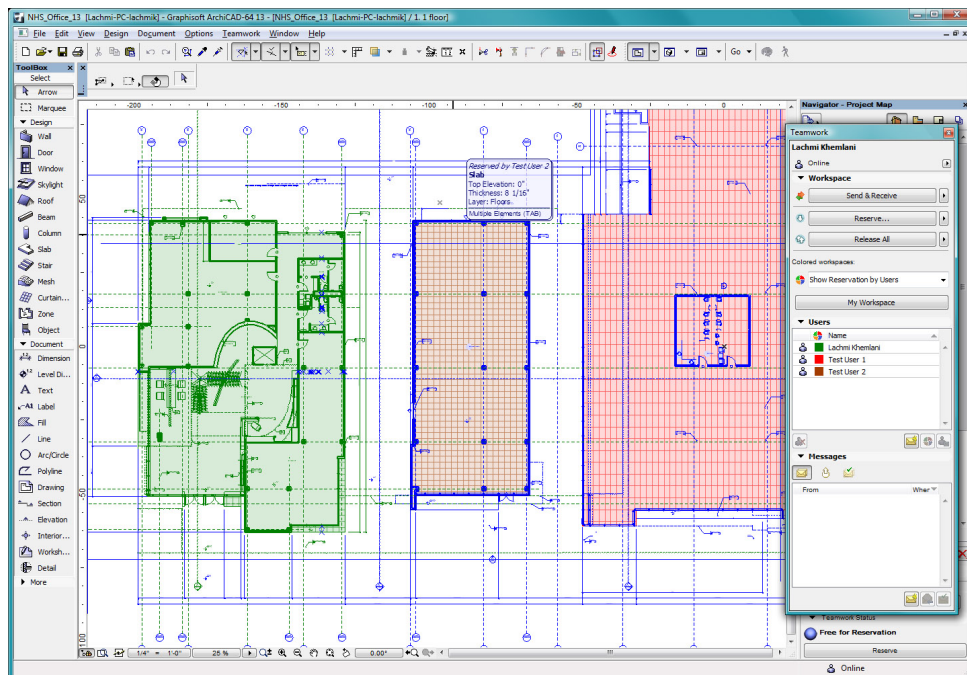
Figur 3.6: Parallelle modeller med felles komponenter

En løsning kan bestå av et bæresystem med stålbjelker og -søyler, mens en annen løsning har et bæresystem oppbygd av prefabrikkerte betongelementer. Selv om bæresystemet er ulikt, kan løsningene likevel ha mye til felles. Tak, fundament og fasader er ikke nødvendigvis avhengige av om bæresystemet er i betong eller stål. Ved å jobbe videre med de delene løsningene har til felles, er det derfor mulig å utsette avgjørelsen om valg av bæresystem.

Figur 3.6 viser to modeller som har lik bygningskropp, men ulik takkonstruksjon. Bygningskroppsmoduleen er koblet til begge takmodulene. Om bygningskroppen endres, vil derfor begge løsningene oppdateres.

### 3.5.4 Samtidig arbeid på modellen

Avsnitt 2.3 om samprosjektering påpekte fordelene med å utføre flere arbeidsoppgaver samtidig. Dette kan løses ved at brukeren *låser* de delene av modellen han skal redigere, slik at de ikke kan endres av andre. Figur 3.7 viser hvordan ArchiCAD 13 tar i bruk denne funksjonen. Modellen på figuren redigeres av tre brukere samtidig, som har reservert hver sin del av modellen og markert dette ved hjelp av individuelle fargekoder. I denne BIM-løsningen vil modellreservasjon tas hånd om av systemet for versjonskontroll.



Figur 3.7: Samtidig arbeid på modellen med ArchiCAD 13 (AECBytes, 2009a)

### 3.5.5 Behandling av fagmodeller

All informasjon som befinner seg i bygningsinformasjonsmodellen er ikke nyttig for alle som bruker modellen. RIV og RIE bryr seg som regel ikke om bygningsdelenes styrkeegenskaper, og brannklassifisering er mest relevant for branningeniøren. For å unngå at hver disiplin må jobbe med irrelevant informasjon, gir BIM-løsningen muligheten til å kunne hente ut bare de objekter og egenskaper som er nødvendige. Figur 3.8 viser at en betongsøyle i den sentrale modellen har mange egenskaper, og at RIB og ARK bare velger å hente ut de egenskapene de trenger.



Figur 3.8: Behandling av fagmodeller

## 3.6 utfordringer

Fremtidens BIM-løsning er langt fra komplett, og mange spørsmål er fortsatt ubesvarte. Nedenfor følger en liste over utfordringer:

- Det må utvikles nye verktøy som tar utgangspunkt i bygningsinformasjonsmodellen.
- Ansatte må læres opp til å bruke nye verktøy og alternative arbeidsmetoder.
- Det stilles høyere krav til prosjektdeltakernes ryddighet, siden informasjon som produseres i stor grad skal gjenbrukes.
- Bedrifter må ha tilstrekkelig nettverkskapasitet og maskinvare.
- Det bør være mulig å fortsette prosjekteringen, selv om sentrale servere er utilgjengelige.

# Kapittel 4

## COWI Trondheim

COWI er en av Nord-Europas ledende konsulentgrupper. De har på verdensbasis rundt 6 000 ansatte, deriblant ingeniører, biologer, geologer, økonomer, landmålere, antropologer, sosiologer og arkitekter. I Norge har bedriften 21 kontorer, og tilbyr rådgivnings- og prosjekteringstjenester med hovedvekt på avfall og miljø, byggrådgivning, prosjektadministrasjon, samferdselsteknikk, tekniske installasjoner og vann og avløpsteknikk (COWI, 2010).

Trondheimskontoret har omtrent 130 ansatte, fordelt på alle COWI sine fagdisipliner. Avdeling for byggeteknikk ble startet opp i 2006, og har 13 ansatte. Avdelingen har et ungt miljø, med en gjennomsnittsalder på 34 år.



Figur 4.1: COWIs logo

Tabell 4.1: Antall ansatte i COWI

	Verden	Norge	Trondheim
Ansatte	6 000	800	130

Formålet med dette kapitlet er å beskrive hvordan COWI bruker BIM under prosjektering av bygninger, og vurdere deres eksisterende arbeidsmetoder. Resultatet brukes for å kartlegge COWI sine behov for verktøy (kapittel 5), og som grunnlag for å utarbeide forslag til alternative arbeidsmetoder (kapittel 6). Det tas utgangspunkt i prosjekteringen av den nye barneavdelingen ved Ålesund Sjukehus, med vekt på bygningstekniske disipliner. Kapitlets innhold er basert på COWI sine prosjektfiler og samtaler med de ansatte.



## 4.1 Ny barneavdeling ved Ålesund Sjukehus

Den nåværende barneavdelingen ved Ålesund Sjukehus brukes av hele Møre og Romsdal fylke, og var ved oppstart i mars 1959 den første barneavdelingen i regionen. De gamle lokalene har siden den tid blitt gamle og utdaterte, og er i følge Helse Midt-Norge (2009) ikke i stand til å oppfylle alle punktene i *Forskrift om barns opphold i helseinstitusjon* (Helse- og omsorgsdepartementet, 2008).

Arkitektkonkurransen i 2004 ble vunnet av Arkitektfirmaet C.F. Møller Norge A/S. Firmaet har erfaring med bruk av BIM, og daværende prosjektleder Steen Sunesen, er i dag daglig leder i BuildingSMART Norge (BuildingSMART Norge, 2010). COWI har vært rådgivende ingeniør for alle ingeniørfag, og hele prosjektet har fått en kostnadsramme på 259,2 millioner kroner. Bygningen har tre plan, og inneholder avdelingene resepsjon, poliklinikk, tverrfaglig team, neonatalavdeling, administrasjon og legekantor, skoletilbud og barnemedisinsk sengepost. Det er med andre ord snakk om en avansert bygning, som inneholder flere tekniske installasjoner enn ordinære kontor- og boligbygg.



Figur 4.2: Den nye barneavdelingen (Arkitektfirmaet C.F. Møller, 2009)

Tabell 4.2: Fakta om prosjektet (Helse Sunnmøre, 2009)

<b>Prosjektering</b>	Fra august 2008
<b>Byggestart</b>	September 2009
<b>Innflytting</b>	Oktober 2010
<b>Bruttoareal</b>	5 327 m <sup>2</sup>
<b>Kostnadsramme</b>	259 200 000 kr

## 4.2 Erfaringer med BIM

COWI har benyttet BIM i flere prosjekter de siste årene, og har blitt godt kjent med teknologiens muligheter og svakheter. For å øke sin kunnskap har de etablert et eget BIM Kompetansesenter, og er i styret til BuildingSMART Norge. COWI deltar i en gruppe bestående av de seks største rådgivende ingeniørfirmaene i Norge, som i fellesskap har laget en slagplan for å sette fart i bruk og utvikling av BIM. Gruppens fem mål for bruk av BIM kan leses i vedlegg B.

COWI har erfart at de med BIM får et bedre beslutningsgrunnlag tidlig i prosjektet. Endringer gjøres når de er minst kostnadskrevende, og kvaliteten på sluttresultatet blir bedre. Løsninger kan testes ut og omforenes før bygget låses, og kollisjonskontroller og visualisering fører til et redusert antall feil i prosjektering og bygging.

BuildingSMART og IFC står sentralt i COWI sin bruk av BIM. De har imidlertid erfart at IFC fremdeles er et umodent filformat, og IFC-støtten i tilgjengelig programvare er dessuten mangelfull. Verken Revit eller AutoCAD Architecture kan for eksempel importere informasjon fra IFC-filer inn i den originale modellen. IFC har problemer med å takle dobbeltkrummete flater, og IFC-filer blir i størrelse ofte flere ganger verktøyenes egne modellfiler. En årsak til dette er at det krever mange linjer med kode for å beskrive objekter med avansert geometri. I ekstreme tilfeller kan et møbel med høyt detaljnivå oppta halvparten av filstørrelsen. Dette påpeker betydningen av å kunne velge ut de delene av modellen som er relevante, og er et av kravene til fremtidens BIM-løsning i kapittel 3.2.

Bruk av IFC forutsetter konverteringer mellom ulike filformat, og dette har hos COWI ført til at informasjon har gått tapt eller blitt forvrengt i konverteringsprosesser. Dette er en stor svakhet med BuildingSMART-teknologien, og er tidligere påpekt i avsnitt 2.4. Selv om COWI krever at alle verktøy skal være IFC-kompatible, vil bedriften være best tjent med at alle fag benytter den programvaren som løser prosjekteringsoppgaven best, uavhengig om verktøyene støtter IFC eller ikke.

COWI mener at fokus bør være på selve modellen, og påpeker at effektiv samhandling krever en effektiv filutveksling. Kapittel 2.2 presenterer fordelene ved at informasjon distribueres ved hjelp av en server-klient-løsning, og COWI forsøker også å tilstrebe dette. Utveksling av filer bør i følge dem foregå i et webgrensesnitt eller på en fellesserver. COWI bør fokusere på informasjonsdeling fremfor filutveksling, for mye av informasjonen bør heller lagres i en database (avsnitt 3.2).

BIM åpner for økt gjenbruk av informasjonen som produseres i prosjekteringen. COWI ønsker at entreprenørene skal kunne benytte modellfilene til å hente ut relevant informasjon for videre planlegging, innkjøp og bygging.

Tabell 4.3 viser hvilke BIM-verktøy COWI bruker i dag. I fremtiden skal også prosjektering av tekniske installasjoner gjøres med Revit, men de norske

leverandørene kan foreløpig ikke tilby en versjon som tilfredsstiller COWI sine krav. COWI vurderer fortløpende innkjøp av nye verktøy, blant annet til energiberegninger, men det finnes ikke i dag noen verktøy som er godkjent opp mot *NS 3031: Beregning av bygningers energiytelse* (Standard Norge, 2010b).

Tabell 4.3: Aktuelle BIM-verktøy i COWI

Verktøy	Bruksområde
Solibri Model Checker	Brukes som et visualiseringsverktøy for å presentere modellen, og for å sjekke modellen mot byggherrekra- v og regelverk.
Autodesk Navisworks	Har samme bruksområde som Solibri Model Checker, men støtter i tillegg Revit og AutoCAD sine filformat. Brukes også til prosjektplanlegging og som møteverktøy
dRofus	Databaseverktøy. Brukes av byggherre for å programmere romfunksjoner.
Autodesk Revit	Modelleringsverktøy. Brukes av RIB og ARK.
AutoCAD Architecture	Modelleringsverktøy. Brukes av alle disipliner.
MagiCAD	Fagmoduler til AutoCAD Architecture for RIV og RIE.

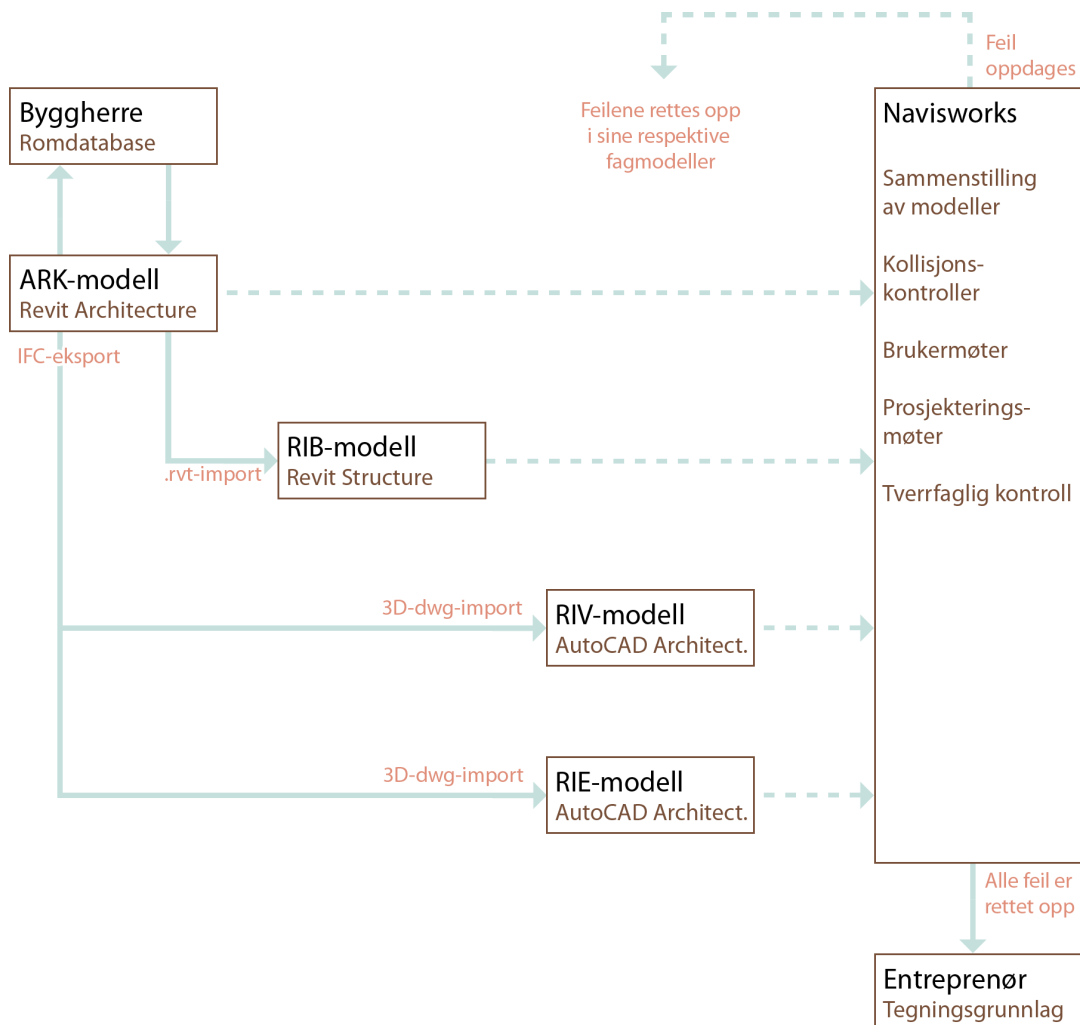
Mer informasjon om Autodesk Revit, Autodesk Navisworks og Solibri Model Checker kommer i kapittel 5.

### 4.3 Prosjektering med BIM

For å undersøke nærmere hvordan COWI bruker BIM under prosjektering av bygninger, er det tatt utgangspunkt i prosjekteringen av ny barneavdeling ved Ålesund Sjukehus (avsnitt 4.1). Byggherre er Helse Sunnmøre, og de ønsket å benytte Statsbygg sin BIM-manual (Statsbygg, 2009) som en pekepinn på hva modellen skal inneholde av informasjon. BIM-manualen klargjør blant annet formaliteter rundt navnsetting av filer, og sier noe om hva de ulike faggruppene har ansvar for, og til hvilken fase informasjon skal legges inn i modellen. COWI benytter seg av IDM (omtalt i avsnitt 2.4) for å lage en oversikt over hvem som utveksler informasjon, til hvilken tid det blir gjort, og hvilken filtype som brukes.

All programvare er kompatibel med IFC versjon 2x3, for å gjøre filkonvertering mellom ulike verktøy så ryddig som mulig. Et mål med prosjektet er at modellen skal kunne helt eller delvis erstatte tegningsleveranser, og at entreprenøren

kan ta utgangspunkt i modellen for mengdeuttak og produksjonsplanlegging. Informasjon knyttet til prosjektet er tilgjengelig i en organisert mappestruktur på en nettverksmappe. COWI har ikke et ønske om å benytte seg av en modellserver, og har ikke selv tatt initiativ til dette. De finner det mest naturlig at byggherre, den juridiske eieren av modellen, tar ansvar for å sette opp en modellserver.



Figur 4.3: Utveksling av modellinformasjon i prosjekteringen

I avsnitt 4.2 ble det vist at det innad i COWI brukes flere ulike modelleringsverktøy. Figur 4.3 illustrerer hvordan modellinformasjonen utveksles mellom de rådgivende disiplinene fra prosjektstart til -slutt. Prosjekteringen utføres i hovedsak på følgende måte:

1. Byggherre benytter seg av dRofus til å lage en romdatabase som inneholder funksjonskrav til bygningens rom og arealer.

2. Arkitekt (ARK) lager en 3D-modell av bygningen i Revit Architecture. Byggherrens romdatabase importeres inn i arkitektens Revit-modell.
3. Rådgivende ingeniør bygg (RIB) får tilsendt arkitektens Revit-modell, og bygger videre på denne i Revit Structure. RIB justerer plasseringen til bærende bygningskomponenter, og gir dem strukturelle egenskaper. Arkitekten jobber samtidig videre på sin egen Revit-modell. Revit Structure har funksjonalitet som åpner for at flere kan jobbe på ulike deler av modellen på samme tidspunkt.
4. ARK eksporterer modellen sin som en IFC-fil, og importeres som 3D-DWG-filer av hver etasje av rådgivende ingeniør VVS (RIV) og rådgivende ingeniør elektro (RIE). RIE og RIV tar utgangspunkt i 3D-DWG-filene og refererer dem inn i sine fagmodeller i AutoCAD Architecture, med fagspesifikke moduler fra MagiCAD.
5. Alle aktører jobber videre med modellene sine. Revit-modellene til ARK og RIB er lenket sammen, og oppdateres jevnlig for å få en oversikt over hverandres endringer. ARK får tilsendt snittegninger fra RIV og RIE for å koordinere arbeidet i henhold til romdatabasen.
6. Navisworks brukes for å sammenstille modellene. Det gjennomføres kollisjonskontroller for å avdekke feil, og problemområder blir avmerket. Modellen gjennomgås på jevnlige brukermøter og prosjekteringsmøter der alle fagdisipliner deltar. Feil som oppdages skal rettes opp mellom møtene.
7. Steg 5 og 6 gjentas helt til alle vesentlige feil er rettet opp og bygningen holder tilstrekkelig god kvalitet.

Kommunikasjonen mellom de ulike faggruppene er ikke like ryddig som den fremstår i figur 4.3. Arkitekt, RIB, RIV og RIE arbeider parallelt med sine respektive fagmodeller, og de kommuniserer med hverandre på kryss og tvers — gjerne via uformelle kanaler — for å koordinere arbeidet sitt.

Prosjektering av bygninger er som regel delt inn i tre faser: *Skisseprosjekt*, *forprosjekt* og *detaljprosjekt*. Denne inndelingen er et krav fra byggherre, og hvordan hver fase er bygd opp varierer fra prosjekt til prosjekt. Nedenfor følger et eksempel på hvilke hensikter hver fase har.

**Skisseprosjekt** I skisseprosjektet utvikles et bygningskonsept av en tverrfaglig gruppe. Ulike grupper arbeider gjerne med hvert sitt konsept, og konkurrerer om å vinne byggherrens anbudskonkurranse. Hovedhensikten med skisseprosjektet er å få grunnlag til å avgjøre om prosjektet kan gjennomføres eller ikke. Det er derfor mest oppmerksomhet mot beregning av kostnader.

**Forprosjekt** Dersom byggherren ønsker å gjennomføre prosjektet på bakgrunn av resultatene fra skisseprosjektet, starter forprosjektet. I forprosjektet jobbes det videre med et valgt konsept fra skisseprosjektet. Konseptet utarbeides på et overordnet nivå, der alle valg av prinsipper og hovedsystemløsninger begrunnes. Forprosjektet avsluttes med en rapport som oppsummerer forutsetningene til alle faggrupper.

**Detaljprosjekt** Detaljprosjektet er en produksjonsfase der konseptets detaljer fastsettes. I denne fasen tas det ikke noen prinsippvalg eller systemløsningsvalg som påvirker kvalitet, fremdrift eller økonomi. Det viktigste er å levere arbeidsgrunnlag for entreprenør i henhold til de gitte forutsetningene i forprosjektet.

I prosjekteringen av ny barneavdeling ved Ålesund Sjukehus, varte skisseprosjektet i 1 måned og forprosjektet i 3 måneder. Detaljprosjektet er ennå ikke fullført, selv om byggingen har startet. I dette tilfellet har entreprenøren flere ganger i byggefasen oppdaget at tegningsgrunnlaget er mangelfullt, så det har stadig kommet forespørsler til COWI om å lage nye detaljtegninger.

Det kan også oppstå andre konflikter i sluttfasen av prosjektet. COWI har opplevd at arkitekt og RIB har hatt ulike mål for detaljprosjektet. Mens RIB legger vekt på produksjon for å fullføre prosjektet, er arkitekten fortsatt i en kreativ fase, og utvikler nye løsninger.

Dette avsnittet har gjennomgått prosjekterings hovedlinjer hos COWI. I de neste avsnittene ser rapporten nærmere på arbeidsoppgavene til rådgivende ingeniør bygg i henholdsvis skisseprosjektet, forprosjektet og detaljprosjektet. Hos COWI er RIB delt inn i 7 ulike fagfelt, men denne rapporten vil kun omfatte to av dem: *Statistiske beregninger* og *byggemetode og materialbruk*.

#### 4.3.1 Byggeteknisk skisseprosjekt

I skisseprosjektet utfører RIB i hovedsak mengdeberegninger og kostnadsoverslag. Figur 4.4 viser at RIB henter ut materialdata fra arkitekt-modellen, og bruker samtidig en databank med materialkostnader eller erfaringstall til å utføre kostnadsoverslag. ISY Calcus (Norconsult Informasjonssystemer, 2010a) og produkter fra Holte Byggsafe (2010) er eksempel på verktøy som brukes til å utføre beregningene. RIB produserer ikke informasjon som er egnet til å legge tilbake i modellen i løpet av skisseprosjektet.

Bruk av BIM forenkler mengdeberegninger betraktelig, for tidligere var det vanlig å gå gjennom snittegninger og telle bygningselementene manuelt. For at mengdeberegningen skal være effektiv, forutsettes det at beregningsverktøyet problemfritt klarer å hente ønsket informasjon fra modellen. I praksis har det vist seg at denne prosessen ikke er strømlinjet, så dataene må gjerne bearbeides en del i etterkant. I noen tilfeller kan det være mer effektivt å legge inn data manuelt, fordi verktøyet ikke holder god nok kvalitet.



Figur 4.4: Arbeidsgang i skisseprosjekt

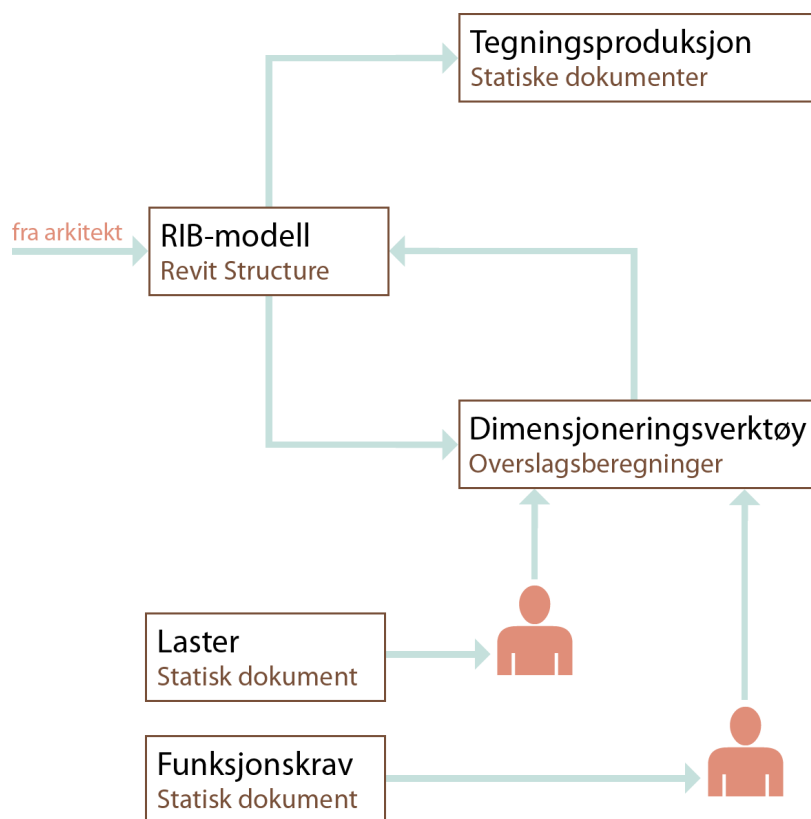
Arbeidsoppgavene i skisseprosjektet utføres i tråd med fremtidens BIM-løsning, men COWI er avhengig av gode verktøy for å kunne utføre oppgavene effektivt.

### 4.3.2 Byggeteknisk forprosjekt

I forprosjektet er RIB sin primære oppgave å utarbeide et fungerende bæresystem. Dette innebærer først og fremst modellering, og beregninger for å sikre at bæresystemet har tilstrekkelig kapasitet. Alt på et overordnet nivå. Figur 4.5 viser en prinsipiell skisse over hvilken informasjon som produseres underveis i forprosjektet, og hvordan den tas i bruk. Det skilles mellom ulike former for informasjon, og det er klassifiseringen fra avsnitt 3.1 (sentralisert informasjon i fremtidens BIM-løsning) som benyttes. Arbeidsgangen kan oppsummeres på følgende måte:

1. RIB lager sin egen fagmodell med utgangspunkt i arkitektens Revit-modell.
2. Generelle lastforutsetninger og funksjonskrav utarbeides fra gjeldende standarder og regelverk.
3. Dimensjoneringsverktøy kontrollerer kapasiteten til bærende elementer, ved å benytte seg av data fra modellen, lastforutsetninger og funksjonskrav.
4. Utvalgte snitt-tegninger av bygningen produseres. Enten ved hjelp av DAK-verktøy eller generert rett fra modelleringsverktøyet.

Utførelsen av arbeidsoppgavene i forprosjektet tydeliggjør at COWI fremdeles er i startfasen når det gjelder bruk av BIM. Lastforutsetninger er tilgjengelig i form av statiske dokument, og informasjonen blir derfor tungvint å bruke og modifisere i motsetning til om den hadde vært lagret i form av en databank. Ingen av dimensjoneringsverktøyene har en direkte kobling til modellen, og dette fører til mye dobbeltarbeid og manuell inntasting av data. Mange konstruksjonsdetaljer tegnes i DAK-verktøy uten at de legges til i modellen, noe som gjør det vanskelig å gjenbruke informasjonen på et senere tidspunkt.



Figur 4.5: Arbeidsgang i forprosjekt og detaljprosjekt

### 4.3.3 Byggeteknisk detaljprosjekt

I detaljprosjektet har RIB de samme arbeidsoppgavene som i forprosjektet, men alt utføres på et mer detaljert nivå. I forprosjektet modelleres hovedbæresystemet, mens i detaljprosjektet modelleres alle bygningsdetaljer, inkludert forbindelser mellom bærende elementene. I forprosjektet kontrolleres generelle bjelker med forhåndsbestemte spennvidder og tverrsnitt, mens i detaljprosjektet kontrolleres konkrete bjelker som befinner seg i modellen.

Informasjonen som produseres i forprosjektet samles i en forprosjektrapport, mens resultatet fra detaljprosjektet sendes til entreprenør. Der det er mulig, brukes informasjonen produsert i forprosjektet videre i detaljprosjektet. Forskjellene mellom de to prosjekteringsfasene er nærmere behandlet i avsnitt 4.5 og 4.6.

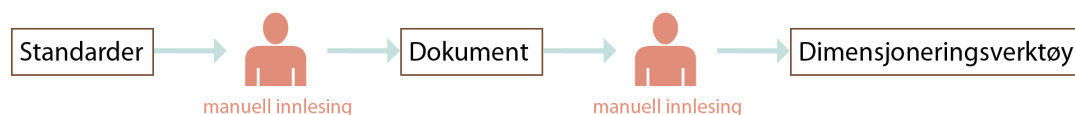
## 4.4 Lastforutsetninger

I forprosjektet finner RIB hvilke laster bygningen er utsatt for, og hvilke funksjonskrav som gjelder. Denne informasjonen brukes ved dimensjonering i forprosjektet og detaljprosjektet.



Bygningen er i tillegg til konstruksjonens egenlast utsatt for nyttelaster og naturlaster. Nyttelaster avhenger av arealenes bruksområder, og naturlaster (snø og vind) er avhengig av geografisk beliggenhet. Ved dimensjonering benyttes det forhåndsbestemte størrelser på nyttelaster og naturlaster, oppgitt i europeiske og nasjonale standarder og regelverk. Dette innebærer først og fremst *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner* (Standard Norge, 2010a). Hvordan informasjonen fra standarder tas i bruk (vist i figur 4.6) kan forklares på følgende måte:

1. Det leses gjennom standarder for å finne aktuelle regler og verdier.
2. Det opprettes et eget dokument med de lastene som er relevante for det gitte prosjektet.
3. Ved dimensjonering leses dokumentet gjennom for å finne riktige laster, og disse skrives senere manuelt inn i et beregningsverktøy.



Figur 4.6: Bruk av laststandarder hos COWI

Lastforutsetninger er et godt eksempel på informasjon som bør være tilgjengelig i form av en databank. Brukere er på jakt etter spesifikk informasjon om lastene, og mesteparten av en standard inneholder derfor informasjon som ikke er relevant. I eksempelet ovenfor befinner ikke lastinformasjonen seg i en databank, men tvert imot i et statisk dokument. Informasjonen er strukturert på feil måte. For å finne verdien til en enkel naturlast i Ålesund, må derfor hele standarden behandles.

En laststandard inneholder en overflod av informasjon, og for å begrense informasjonsmengden har COWI innført et mellomledd i form av et statisk dokument, som bare inneholder de lastene som er relevante for prosjektet. Dette minimerer informasjonsoverfloden, men medfører samtidig dobbeltarbeid: Informasjonen må først skrives manuelt inn i lastdokumentet, og deretter må den skrives manuelt inn i beregningsverktøyet.



Figur 4.7: Alternativ bruk av laststandarder

En alternativ løsning er å la beregningsverktøyet hente informasjonen direkte fra en lastdatabank, vist i figur 4.7. Da trenger ikke brukeren å håndtere unødvendig informasjon, og slipper samtidig å utføre dobbeltarbeid.

I forbindelse med lastforutsetninger, utarbeides det også funksjonskrav. Dette er krav til nedbøyninger og deformasjoner i bygningen, og er avhengig av konstruksjonstype. Funksjonskrav behandles på lik måte som lastforutsetninger, og hentes fra standarder.

## 4.5 Dimensjonering

Dimensjonering går ut på å utarbeide et bæresystem som har tilstrekkelig kapasitet til å ta opp de belastningene bygningen blir utsatt for. Dette er ofte en iterativ prosess, der følgende steg inngår:

1. Velg tverrsnitt og geometri på komponenten som skal dimensjoneres.
2. Kontroller at komponenten har tilstrekkelig kapasitet til å oppta de belastningene den blir utsatt for.
3. Dersom komponenten ikke har tilstrekkelig kapasitet, gjenta steg 1 og 2 helt til komponenten passerer kapasitetskontrollen.

Bæresystemets kapasitet må også bestemmes på systemnivå, og da er det helheten som betraktes, ikke enkeltkomponenter. Kapasitetskontrollen innebærer beregninger av bøynings- og torsjonsmomenter, skjærkrefter og normalkrefter. Det må kontrolleres at komponentene ikke blir utsatt for knekking, vipping eller utilsiktede svingninger i byggefase og ferdigtilstand. Dimensjoneringens omfang er ulik i forprosjektet og detaljprosjektet, og forskjellene er beskrevet nedenfor:

**I forprosjekt** Dimensjoneringen holdes på et overordnet nivå. Bjelker, søyler og skiver som er en del av bæresystemet, er det eneste som kontrolleres. Det er som regel generelle bygningskomponenter med utvalgte spennvidder og tverrsnitt som dimensjoneres, og ikke konkrete komponenter fra modellen. Det regnes ikke på armering i forprosjektet, men det undersøkes om tverrsnittet er stort nok og om nedbøyningsskravene tilfredsstilles.

**I detaljprosjekt** Det foretas full analyse av de bærende bygningskomponentene, konstruksjonsdetaljer, forbindelser, innfestninger og knutepunkt i modellen.

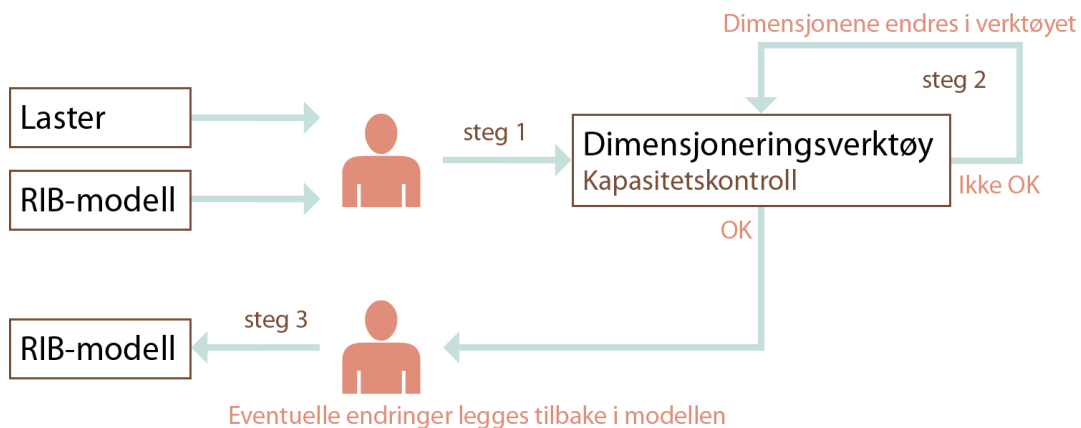
Dimensjoneringen utføres ved hjelp av beregningsverktøy, som tar i bruk informasjon fra modellen for å beregne bygningens lastkapasitet. Tabell 4.4 viser hvilken informasjon som brukes, og hvilken informasjon som produseres.

Tabell 4.4: Bruk og produksjon av informasjon ved dimensjonering

Informasjon inn	Informasjon ut
Materialfasthet	Kapasitet
Elastitetsmodul	
Geometri	
Laster	

## Gjennomføring hos COWI

På COWI-kontoret i Trondheim er det fortsatt ikke tatt i bruk dimensjoneringsverktøy basert på BIM. Det planlegges nå å ta i bruk Autodesk Robot Structural Analysis, på grunn av verktøyets tette kobling til Revit Structure. I dag har COWI mange dimensjoneringsverktøy tilgjengelig, der verktøyenes bruksområder overlapper hverandre. Det er vanlig å kjøre utvalgte kontroller og analyser med flere verktøy, for å sikre seg at resultatet er riktig. Hvilke verktøy som tas i bruk, er opp til hva hver enkelt foretrekker å benytte. Tabell 4.5 viser en oversikt over verktøyene som brukes.



Figur 4.8: Dimensjonering hos COWI

Felles for alle dimensjoneringsverktøy er at de ikke er i stand til å kommunisere direkte med modellen. Figur 4.8 viser et eksempel på hvordan dimensjoneringen i praksis foregår:

1. Informasjon fra modellen og lastforutsetninger skrives manuelt inn i verktøyet.
2. Dersom kapasitetskontrollen ikke er OK, endres dimensjonene direkte i verktøyet, og kontrollen kjøres igjen.

3. Dersom kapasitetskontrollen er OK, må eventuelle endringer i dimensjoner legges til manuelt i modellen.

Med COWI sin nåværende BIM-løsning vil det forekomme dobbeltarbeid, som følge av at ingen av modelleringsverktøyene kommuniserer direkte med modellen. Ved å bruke dimensjoneringsverktøy som støtter bruk av BIM, kan dette problemet unngås.

Tabell 4.5: Dimensjoneringsverktøy

Verktøy	Beskrivelse
Focus Konstruksjon	Et program for å gjøre statiske analyser av bygningskonstruksjoner i 2D eller 3D, for eksempel søyler, bjelker, rammer eller fagverk. (Focus Software, 2010)
FEM-Design	Et program med en rekke moduler som tilbyr kraftige analyser basert på elementmetoden. (FEM-Design, 2010)
Ove Sletten	Diverse verktøy for dimensjonering av betongkonstruksjoner og beregning av laster. (Sivilingeniør Ove Sletten, 2010)
G-PROG	En rekke programmer for statikkberegning og dimensjonering av stål-, tre- og betongkonstruksjoner. (Norconsult Informasjonssystemer, 2010b)
STAAD	Et verktøy for konstruksjonsanalyse av stål-, betong-, tre- og aluminiumskonstruksjoner. (Bentley, 2010a)

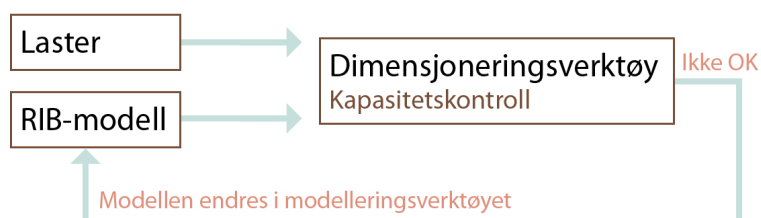
## Alternativ gjennomføring

Ved effektiv bruk av dimensjoneringsverktøy vil verktøyet kunne hente informasjon direkte fra modellen, uten at data må skrives inn manuelt. Det samme gjelder også for lastforutsetninger. Figur 4.9a viser hvordan dimensjoneringsverktøy bør brukes, sammenlignet med COWI sin metode:

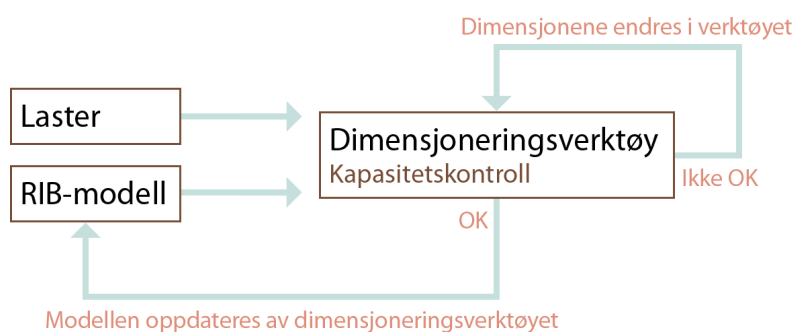
1. Informasjon fra modellen og lastforutsetninger importeres av verktøyet.
2. Dersom kapasitetskontrollen ikke er OK, endres dimensjonene i modellen, verdiene i dimensjoneringsverktøyet oppdateres, og kontrollen kjøres igjen.

Denne løsningen forutsetter at det er en tett kobling mellom modellen og dimensjoneringsverktøyet. I tillegg til at verktøyet henter informasjon om objektene fra modellen, må det også vite *hvilke* objekter den henter informasjonen fra.

På den måten kan modelleringsverktøyet oppdatere sin informasjon ved modellendringer, i stedet for at brukeren må spesifisere manuelt hvilken informasjon verktøyet skal hente ut.



(a) Løsning 1



(b) Løsning 2

Figur 4.9: Alternativ bruk av dimensjoneringsverktøy

Figur 4.9b viser en alternativ bruk som har likhetstrekk med COWI sin nåværende metode. Her foretas modellendringer i dimensjoneringsverktøyet, og den sentrale modellen blir oppdatert når kapasitetskontrollen er OK. Brukeren slipper dermed å bruke både et dimensjoneringsverktøy og et modelleringsverktøy, og foretar endringer der det er mest hensiktsmessig. Denne løsningen forutsetter en toveis-kobling mot modellen. Verktøyet må både kunne lese fra modellen og oppdatere den.

Den store fordelen med de alternative metodene er at brukeren slipper å behandle data manuelt. Brukeren velger hvilken informasjon som skal hentes fra modellen (bare én gang), men skal ikke behøve å modifisere dataene i etterkant. Dette krever at dimensjoneringsverktøyet klarer å tolke modellen korrekt, slik at informasjonen i modellen og dimensjoneringsverktøyet samsvarer 100 %.

## 4.6 Modellering og tegningsproduksjon

Det primære målet med prosjekteringen er å utvikle et bygningskonsept og levere arbeidsgrunnlag for entreprenør. Tradisjonelt har dette gått ut på at RIB leverer fra seg snittegninger, men etter innføringen av BIM innebærer dette å produsere en modell av bygningen, som utvalgte snitt hentes ut fra. I og med at forprosjektet og detaljprosjektet har ulikt perspektiv, er det forskjellig detaljnivå på modelleringen i de to fasene:

**I forprosjekt** Bæresystemet er stort sett det eneste som modelleres. Det vil si bjelker, søyler, dekker og fundament, i tillegg til informasjon om materialtype og geometri.

**I detaljprosjekt** Resten av bygningen modelleres. Her inngår blant annet forbindelser, innfestninger, armering, klimaskiller, yttervegger og konstruksjoner mot terreng.

Hos COWI modelleres hele bæresystemet i Revit Structure, men de har ikke kommet så langt i bruken av BIM at alle bygningsdetaljer modelleres. Revit Structure er dårlig egnet til å fremstille forbindelser og tynne materialsjikt, så AutoCAD Architecture brukes til å tegne de detaljene som ikke modelleres. Hvordan modellen tas i bruk ved tegning av detaljer, varierer. Noen ganger importeres modellen inn i DAK-verktøyet og tegnes videre på, mens andre ganger er det mer effektivt å *se* på modellen, og tegne hele detaljen fra grunnen av. Dette uten å bygge videre på informasjonen som allerede finnes. Det kan imidlertid være problematisk å importere modellen inn i DAK-verktøyet, siden noe av geometrien kan bli forvrengt eller gå tapt ved eksportering.

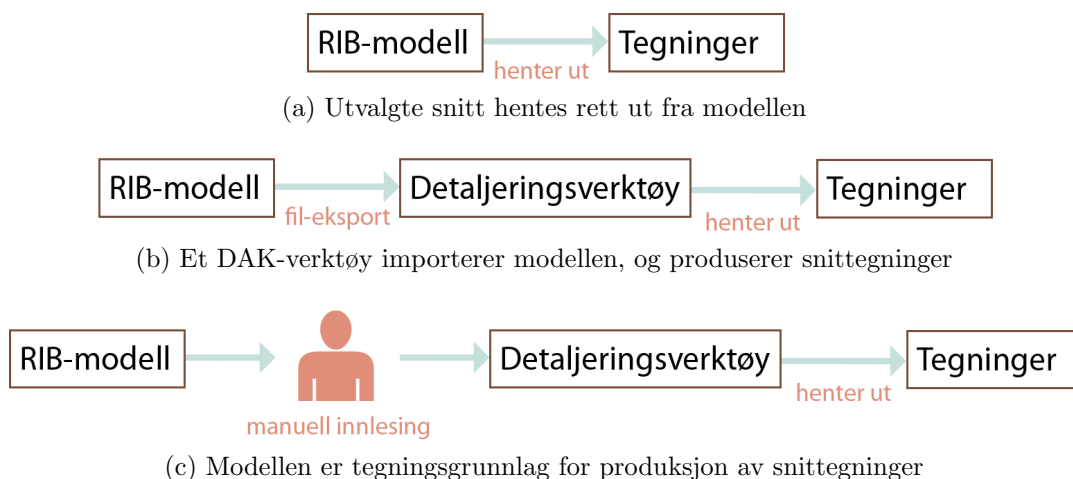
En modell inneholder mye geometrisk informasjon, og det kan være en tidkrevende prosess å velge ut akkurat de objektene som skal være med i en detaljtegning. Det er raskere å tegne et rektangel for å illustrere en vegg, enn å hente ut den faktiske veggen fra modellen. Denne metoden har sine konsekvenser, og det er vanskelig å gjenbruke informasjon om den samme detaljen i andre sammenhenger. Når en detalj tegnes i et DAK-verktøy, legges den ikke tilbake i modellen, og er bare tilgjengelig via statiske snittegninger.

BIM krever mer av rådgivere enn det tradisjonell tegningsproduksjon gjør. Tidligere var det mulig å tegne en utvalgt detalj, og påpeke at detaljen gjentar seg flere steder i bygningen. Med BIM må hver enkelt detalj modelleres, så modellen blir komplett. Det er lettere å ha kontroll over linjene på en tegning i to dimensjoner, enn over alle objekter i en 3D-modell. Et vanlig problem i samspillet mellom rådgivere og entreprenører, er at entreprenøren ikke mottar tegningsgrunnlag til alt som skal bygges. Dette fører til at det tar lang tid før detaljprosjektet fullføres, og er som tidligere nevnt årsaken til at detaljprosjekteringen av ny barneavdeling ved Ålesund Sjukehus fortsatt ikke er fullført. Å lage

en komplett modell kan redusere dette problemet. Effekten vil bli størst dersom samprosjektering innføres, så entreprenøren blir mer involvert i prosjekteringen.

Snittegninger kan produseres på flere måter, og figur 4.10 viser tre metoder som benyttes av COWI i dag. Den første metoden er den beste ved bruk av BIM, og de to andre metodene bør unngås på grunn av dobbeltarbeid og lite gjenbruk av informasjon.

1. Figur 4.10a: Snittegninger hentes direkte fra en modell som inneholder all nødvendig geometri.
2. Figur 4.10b: Modellen importeres inn i et DAK-verktøy. De detaljene som mangler tegnes inn.
3. Figur 4.10c: Modellen importeres ikke inn i DAK-verktøyet, men brukes som tegningsgrunnlag. All geometri tegnes inn på nytt.



Figur 4.10: Produksjon av tegninger

## Fremtidens bruk av modellen

Helt siden mennesket lærte seg å bruke verktøy, har ingeniører og arkitekter hatt to fundamentale måter å planlegge nye byggverk på:

- Den ene metoden er å lage en tegning av byggverket ved hjelp av ark og skriveredskap.
- Den andre metoden er å lage en miniatyrm modell av byggeverket ved å bruke tre eller andre materialer.

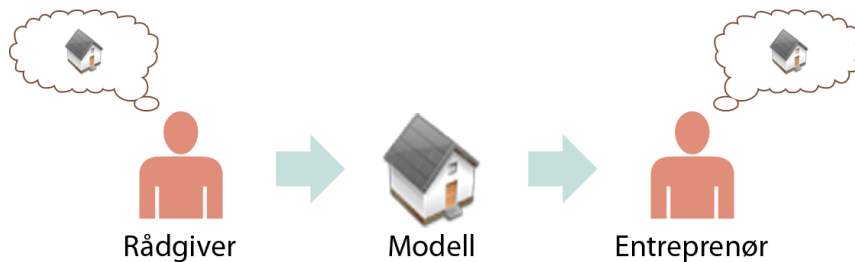
Både tegningen og modellen er en abstraksjon av byggverket som befinner seg i skaperens hode. Virkeligheten har tre dimensjoner, og den konseptuelle tanken om byggverkets form må følgelig også være i tre dimensjoner. Miniaturmodellen er dermed en mer korrekt illustrasjon av byggverket enn tegningen. Det er dermed også mer krevende å abstrahere en tegning i to dimensjoner fra den konseptuelle tanken enn å abstrahere en modell i 3D.

Når byggverk skal oppføres er det lettere å følge en modell i 3D enn en tegning i 2D, men av praktiske årsaker er det tegninger som brukes som grunnlag for byggingen. Konstruksjon av en miniaturmodell er kostbart i forhold til det å lage tegninger, og det er dessuten vanskelig å få med nødvendige detaljer på en modell av tre eller lignende.



Figur 4.11: Produksjon og bruk av tegninger

Det har vært mulig å lage digitale 3D-modeller de siste tiårene, men 3D-modeller har fortsatt ikke erstattet snittegninger ute på byggeplassen. Figur 4.11 viser hvordan situasjonen er i dag: Rådgiveren bruker tid og krefter på å illustrere sine tanker i to dimensjoner, og sender tegninger til entreprenøren. På byggeplassen bruker entreprenøren tid på å forestille seg hvordan den to-dimensjonelle tegningen skal oppføres i virkeligheten. Her kan det lett oppstå misforståelser.



Figur 4.12: Produksjon og bruk av modeller

Figur 4.12 viser hvordan den samme prosessen kan foregå i fremtiden: Rådgiveren lager en 3D-modell som han gir til entreprenøren. På byggeplassen går det klart frem modellen hvordan skal oppføres. Begge aktører slipper å bruke krefter på å omstille fra 2D til 3D. I fremtiden vil dette bli mer vanlig, så COWI



bør avvenne seg tanken med å produsere tegninger, og i stedet fokusere på å modellere alle detaljer.

## 4.7 Helhetsvurdering

COWI Trondheim har kommet godt i gang med å bruke BIM. Både arkitekt og rådgivende ingeniør bygg modellerer bygninger ved hjelp av Revit, og mye av modellens informasjon gjenbrukes, blant annet til mengdeberegninger og kostnadsvurderinger. Det meste av prosjekteringen løses imidlertid fortsatt ved hjelp av gamle, innarbeidete metoder, og det er mange punkter som kan forbedres:

- All prosjektinformasjon ligger sentralt lagret på en server, men det finnes ikke et brukergrensesnitt som gjør det enkelt å finne ønsket informasjon. Informasjonen er lagret i filer, og er organisert i en hierarkisk mappestruktur. Filene kan nås ved å benytte seg av en filutforsker. COWI har allerede en intranettside, og prosjektinformasjonen kan alternativt integreres i denne. Informasjonen kan organiseres i en database, for å være søkbar.
- Det finnes ikke et sentralt forum for kommunikasjon og diskusjon rundt prosjekteringen. Korte telefonsamtaler mellom to personer gir raske svar, men det er samtidig bare to personer som bidrar med innspill for å løse et problem. I kapittel 2.3 om samprosjektering ble det påpekt at utvikling av glimrende løsninger krever at prosjekteringsgruppen løser alle problemer sammen. Dette forutsetter selvfølgelig en organisert form for kommunikasjon.
- ARK, RIB, RIV og RIE jobber med hver sin modell, som består av mange felles bygningskomponenter. Bæresystemet er en del av alle modellene, og i verste fall kan plasseringen av en bærende søyle være ulik i alle de fire modellene. Modellene kan sammenstilles i Navisworks for å finne feil, men modellene bør også kunne sammenstilles underveis i prosjekteringen, slik at feil kan rettes opp med en gang de oppstår.
- Deler av informasjonen befinner seg i statiske dokument, noe som gjør det unødvendig tungvint å manipulere og hente ut data. Dette gjelder lastforutsetninger og funksjonskrav, som heller bør lagres i databanker.
- Ingen av dimensjoneringsverktøyene som brukes i dag støtter BIM. Mye informasjon må dermed skrives på nytt, i stedet for å kunne hentes direkte ut fra modellen.
- Ikke alle detaljer modelleres. Mange tegnes i DAK-verktøy, og legges dermed ikke inn i modellen. At rådgivere skal produsere tegninger er en

avleggs tanke. I fremtiden er det selve modellen som kommer til å bli overlevert, så entreprenøren selv kan bestemme hva han skal bruke som grunnlag for byggingen.

Noen av punktene ligger utenfor COWI sin kontroll. Årsaken til at en del detaljer tegnes fremfor å modelleres, er at detaljeringsverktøy ikke leser modellen plettfritt. Det kan også oppstå problemer når dimensjoneringsverktøy skal tolke modellen. Det neste kapittelet tar for seg BIM-verktøy, for å undersøke hvilke muligheter COWI har til å forbedre sine metoder.

# Kapittel 5

## Verktøy

Det som skiller et BIM-verktøy fra et ordinært verktøy, er at BIM-verktøyet arbeider med en modell, bestående av objekter som inneholder mer informasjon enn bare geometri. Tradisjonelle DAK-verktøy opererer med linjer og geometriske former, uten andre egenskaper enn det som er mulig å se på en todimensjonell figur.

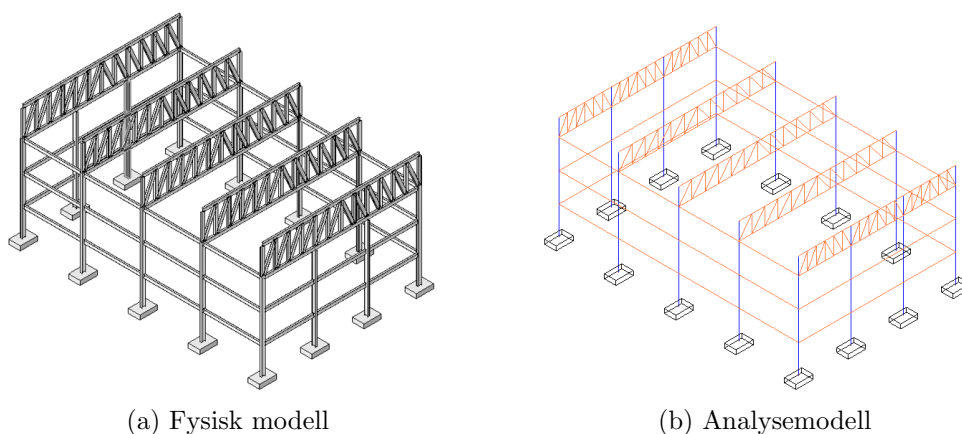
I dette kapittelet presenteres et utvalg av BIM-verktøy med ulike bruksområder, for å gi et innblikk i hvilke muligheter dagens verktøy kan tilby. Det er forsøkt å velge verktøy som kan rette opp de svakheter COWI har i dag (avsnitt 4.7), og som samtidig passer inn i fremtidens BIM-løsning fra kapittel 3. Det er spesielt fem punkter det er interessant å undersøke:

- Hvilken funksjonalitet har verktøyet?
- Hvordan bruker verktøyet modellen?
- Hvordan overføres informasjon til andre verktøy?
- Tilrettelegger verktøyet for samtidig og fremtidig arbeid?
- Har verktøyet noen begrensninger med hensyn til arbeidsform?

COWI benytter seg i dag av modelleringsverktøyet Autodesk Revit innen flere disipliner, og har ingen planer om å bytte leverandør i nær fremtid. Denne rapporten tar derfor utgangspunkt i bruk av Revit, og det medfører at dette kapittelet vil fokusere på verktøy fra Autodesk. Det finnes nemlig direktekoblinger mellom enkelte Autodesk-produkter, i tråd med andre grunnprinsipp fra avsnitt 2.1: *Kommuniser direkte, uten mellomledd*. Det er ikke foretatt omfattende testing av funksjonaliteten til hvert verktøy. Det er i stedet prioritert å forklare hvordan verktøyene er tilpasset bruk av BIM. Kapitlet er skrevet på bakgrunn av verktøyenes dokumentasjon, leverandørens nettsider og tester, om de har vært tilgjengelige.

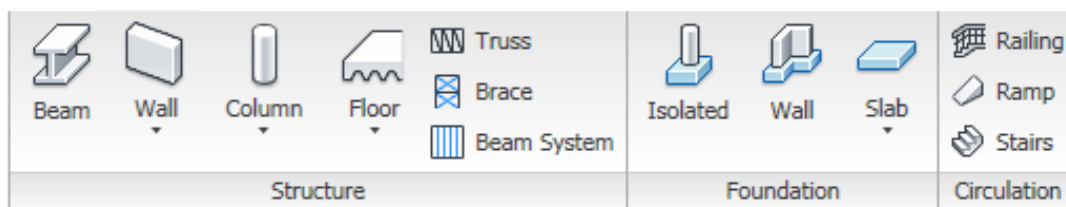
## 5.1 Autodesk Revit Structure

Autodesk Revit Structure, heretter betegnet som Revit, er et modelleringsverktøy spesialtilpasset for konstruktører. Revit brukes hos COWI Trondheim i dag, og dette kapitlet går nærmere inn på hvilke muligheter verktøyet kan tilby. Kapitlet er skrevet på bakgrunn av erfaringer med Autodesk Revit Structure 2010 64-bit.



Figur 5.1: Modeller i Revit

Modelleringen i Revit utføres ved at brukeren velger hvilken bygningskomponent han vil legge til, og deretter plasserer komponenten på ønsket sted. Hver bygningskomponent er en forekomst av en objektklasse, og kan ha egenskaper og relasjoner til andre bygningskomponenter. En søyle kan for eksempel angis til å gå fra fundamentet til etasjeskilleren mellom første og andre etasje. Dersom etasjeskilleren senere heves eller senkes, vil søylen følge etter, slik at det alltid er en kobling mellom komponentene. Figur 5.2 viser et utvalg av de innebygde bygningskomponentene i Revit.



Figur 5.2: Bygningskomponenter i Revit

I Revit er det mulig å modellere søyler, bjelker, strekkstag, fagverk, vegger, fundamenter, etasjeskillere og armering. Verktøyet er ikke egnet til å modellere konstruksjonsdetaljer, som forbindelser mellom søyler og bjelker. Det er mulig å

modellere komponenter av betong og stål, men komponenter av trematerialer er ikke en del av standardutgaven.

I tillegg til den fysiske modellen, har Revit en egen analysemodell av bygningen, vist i figur 5.1b. Analysemodellen er en forenklet 3D-representasjon av den fysiske modellen, og viser hvilke komponenter som inngår i bæresystemet, og hvor komponentene er koblet sammen. Det er også mulig å angi opplagerbetingelser, laster (punktlast, linjelast og flatelast) og lastkombinasjoner.

Det finnes innebygde funksjoner som kontrollerer visse forhold ved analysemodellen. Dersom en bjelke ikke er koblet til andre strukturelle komponenter, vil det komme en feilmelding. Slike kontroller kan være nyttige å gjennomgå før modellen brukes av et analyseverktøy.

Modellene lagres i Revit sitt eget filformat, RVT. Modellen kan eksporteres til andre formater, både i 2D og 3D, deriblant DWG, DWF, gbXML og IFC. Utvalgte deler av modellen kan dessuten eksporteres som en ODBC-database (Open Database Connectivity). Eksportformatene samsvarer ikke 100 % med RVT-formatet, så det er en risiko for at noe av informasjonen forsvinner eller blir forvrent ved eksport. Figur 5.6 i avsnitt 5.2 er et eksempel på en Revit-modell som stort sett er ubrukelig etter å ha blitt overført til Autodesk Robot Structural Analysis gjennom IFC-formatet.

For overføring av modellen til verktøy som ikke støtter RVT-formatet, har IFC blitt den allment anerkjente standarden å bruke. IFC inneholder ikke nøyaktig de samme objektklassene som RVT, men det finnes ofte en objektklasse som ligner. RVT-klassen *Wall* samsvarer for eksempel med IFC-klassen *IfcWall*. Ved eksport oversettes hver RVT-klasse til en lignende IFC-klasse, om den finnes. For at IFC skal få med seg all informasjon ved eksport fra Revit-modellen, må det finnes en tilsvarende IFC-klasse for hver eneste RVT-klasse.

Tabell 5.1: Oversettelse fra Revit-klasser til IFC-klasser

Revit-klasse	IFC-klasse
Columns	IfcColumn
Foundations	IfcFooting
Framing	IfcBuildingElementProxy

I Revit sine innstillinger for eksport finnes en oversikt over hvilke objektklasser som kan eksporteres til IFC. Av 14 strukturelle klasser, er det kun 3 som lar seg eksportere til IFC. Tabell 5.1 viser hvilke klasser som kan konverteres til IFC, og tabell 5.2 viser klasser som ikke blir eksportert. Informasjon om armering, forbindelser og opplagerbetingelser lar seg for eksempel ikke overføre ved hjelp av IFC.

Tabell 5.2: Revit-klasser som ikke eksporteres til IFC

Boundary Conditions	Beam Systems	Internal Loads
Area Reinforcement	Stiffeners	Load Cases
Path Reinforcement	Trusses	Loads
Connections	Rebar	

Siste utgave av IFC har 39 strukturelle objektklasser, og klassene *IfcStructuralConnection* og *IfcStructuralLoad* kan samsvare med Revit-klassene *Connections* og *Loads* (IAI Tech International, 2009). Enten kan Revit sin IFC-eksport forbedres, eller så er klassedefinisjonene til Revit og IFC så ulike at en direkte oversettelse ikke er mulig.

IFC-filer fra andre verktøy kan importeres i Revit. IFC-modellen konverteres til RVT-format i samme øyeblikk som den åpnes, så Revit kan ikke brukes til å lese IFC-filer uten at informasjonen blir endret. Det er heller ikke mulig å oppdatere en Revit-modell med data fra en tilsvarende IFC-modell. Å bruke IFC som utvekslingsformat er uforutsigbart, og det er lett å miste kontrollen over hva som til slutt befinner seg i modellen.

Revit åpner for at mer enn én person kan jobbe på modellen samtidig. Metoden består av to trinn:

- Hver bruker jobber med en lokal kopi av modellen, og synkroniserer arbeidet mot en sentral modell.
- Modellen deles inn i delmodeller. En delmodell kan bare redigeres av én person samtidig.



Figur 5.3: Samtidig arbeid med Revit

En delmodell er en samling av objekter innenfor et geografisk eller funksjonelt område. Delmodeller kan for eksempel deles inn etter etasjer, eller i fagdisiplinene ARK, RIB, RIV og RIE. Hver person får sin egen delmodell å arbeide med, og kan ikke uten videre redigere andres delmodeller. Bruk av delmodeller fører til bedre ytelse, siden Revit bare laster inn delmodellen som redigeres, og ikke den komplette modellen. De lokale delmodellene synkroniseres mot den sentrale modellen med jevne mellomrom, vist i figur 5.3. Siden to personer ikke kan

jobbe på en spesifikk delmodell samtidig, er det liten risiko for at data ved en feiltagelse blir overskrevet.

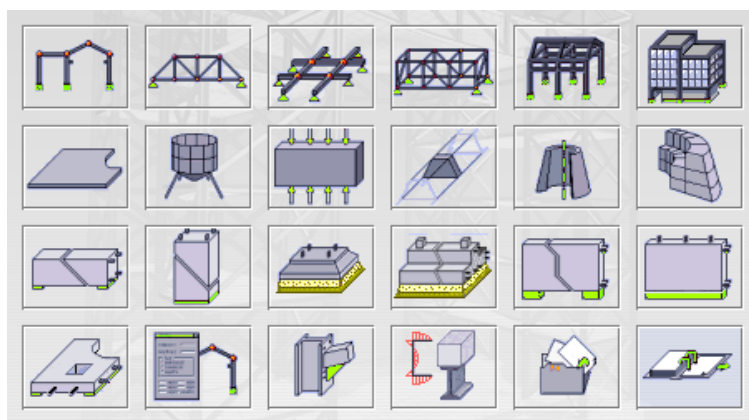
I tillegg til Revit Structure, finnes det også versjoner spesielt tilpasset arkitekter (Revit Architecture) og tekniske fag (Revit MEP). Disse modellene kan lenkes sammen, slik at de ulike disiplinene kan se hverandres modeller. Lenkingen utføres ved å lage en kobling mellom gitte plan eller akser i de respektive modellene. Det kan spesifiseres at gitte akser har samme geografiske posisjon i alle modeller.

Om RIB og ARK sine modeller lenkes sammen, kan RIB velge å se ARK-modellen sammen med sin egen. ARK-modellen plasseres da relativt til de aksene som er lenket sammen. RIB har ikke mulighet til å redigere elementer i ARK-modellen, men kan se om det er avvik mellom de to modellene. Det gjør det mulig å koordinere arbeidet, så plasseringen av søyler blir lik i begge modeller.

Noen bygningskomponenter er en del av flere modeller, men har ulik funksjon i hver modell. Arkitektmodellen inneholder arkitekt-søyler som skal bidra til å skape et godt visuelt inntrykk, mens RIB-modellen inneholder bærende søyler som skal motstå belastninger og holde bygningen oppreist. Den geografiske posisjonen til disse komponentene må finnes i fellesskap, på tvers av fagdisiplinene. Revit kan brukes til å se uoverstemmelser, men kan ikke løse dem.

## 5.2 Autodesk Robot Structural Analysis

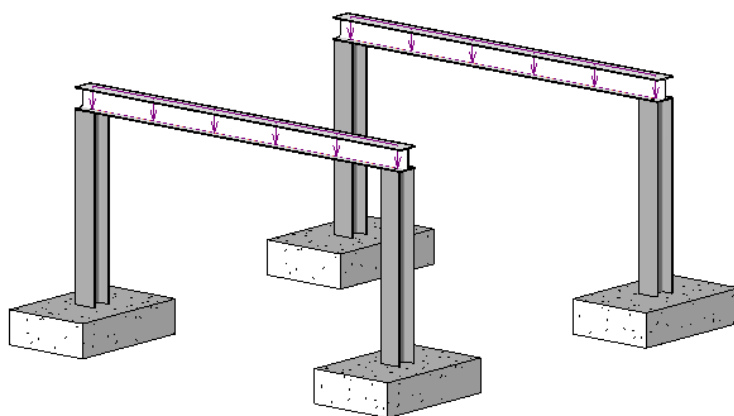
Autodesk Robot Structural Analysis, heretter betegnet Robot, er et verktøy for konstruksjonsanalyser og dimensjonering. Verktøyet er egnet både for rammekonstruksjoner (2D og 3D), samt plate-, skive-, skall- og volumkonstruksjoner ved hjelp av elementmetoden. Figur 5.4 viser de ulike konstruksjonstypene Robot skiller mellom. Avsnittet er skrevet på bakgrunn av erfaringer fra Autodesk Robot Structural Analysis 2010 32-bit.



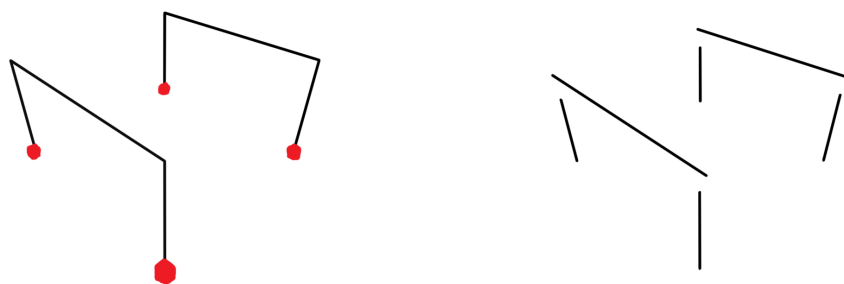
Figur 5.4: Konstruksjonstyper i Robot

Robot har funksjonalitet spesialtilpasset modellering av bæresystemer. Analysene i Robot utføres i utgangspunktet på modeller bygget opp fra grunnen av i Robot, men støtter også import av modeller fra andre verktøy. Modeller som er redigert ved hjelp av Robot, kan bare lagres i Robot sitt eget filformat, RTD.

Autodesk er leverandør av både Revit og Robot, og har utviklet en spesialkobling mellom de to verktøyene. Revit har en modul som gir mulighet til å sende en modell til Robot, eller oppdatere modellen i Revit dersom det er foretatt endringer i Robot. Koblingen kan bare utføres ved hjelp av Revit, og det er ingen valg i Robot som sender modellen tilbake til Revit. Både eksport og import av modellen skjer i Revit. Koblingen vil også bare fungere dersom både Revit og Robot er installert på datamaskinen. Koblingen kan ikke utføres mellom to separate datamaskiner.



Figur 5.5: Revit-modell



(a) Metode 1: Spesialkobling Revit-Robot

(b) Metode 2: Overføring av IFC-fil

Figur 5.6: Revit-modellen i Robot



IFC er blant de filformatene som støttes av Robot, og import av IFC-modeller i Robot er analogt med import av IFC-modeller i Revit, omtalt i avsnitt 5.1. IFC er et alternativ til å bruke spesialkoblingen mellom Revit og Robot.

Overføringen av IFC inneholder to ledd, ett mer enn spesialkoblingen mellom Revit og Robot. IFC-filen må først eksporteres fra Revit, og deretter importeres av Robot. For å teste om det er noen forskjell mellom de to koblingene, er det modellert en enkel konstruksjon i Revit, vist i figur 5.5. Konstruksjonen består av en bjelke som bæres av to søyler, stående på fundamenter. På hver bjelke er det plassert en linjelast. I metode 1 benyttes spesialkoblingen for å overføre modellen til Robot, og i metode 2 eksporteres Revit-modellen til en IFC-fil, som igjen importeres av Robot.

Figur 5.6 viser resultatet fra overføringen mellom Revit og Robot. Å bruke spesialkoblingen har i dette tilfellet vært en bedre metode enn en overføring via IFC-formatet. Det eneste spesialkoblingen ikke klarer å overføre, er linjelasten på toppen av bjelkene. IFC-overføringen har følgende feil:

- Fundamentene overføres ikke.
- Linjelasten overføres ikke.
- Aksesystemet fra Revit overføres ikke.
- Både bjelker og søyler betraktes som staver.
- Bjelkene er ikke lenger koblet sammen med søylene.

Spesialkoblingen mellom Revit og Robot er toveis, og denne har vist seg å fungere. Det er gjort forsøk med å endre dimensjoner på bjelkene i Robot, og modellen i Revit har blitt oppdatert korrekt. Robot har ikke muligheten til å eksportere modellen som en IFC-fil, så IFC-koblingen fungerer bare én vei.

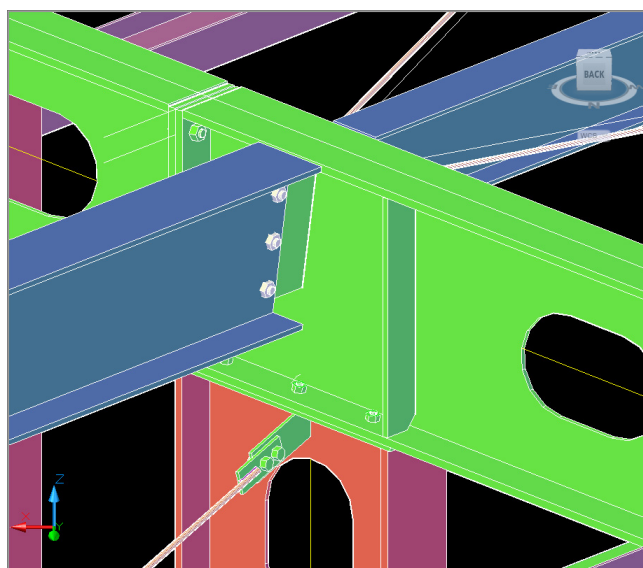
Revit og Robot er i utgangspunktet to ulike verktøy, og har ikke definisjoner av objektklasser som samsvarer 100 % med hverandre. Det vil derfor alltid være en risiko for at informasjon går tapt eller blir forvrent ved overføringer. I forrige eksempel var linjelasten den eneste informasjonen som ikke lot seg overføre. Spesialkoblingen bør derfor testes ytterligere, for å få en full oversikt over hva som lar seg gjøre.

## 5.3 AutoCAD Structural Detailing

AutoCAD Structural Detailing, heretter betegnet AutoCAD SD, er en versjon av AutoCAD spesialtilpasset for konstruktører. Verktøyet er, som navnet sier, spesielt innrettet mot detaljer som knutepunkter, armering og lignende. Dette avsnittet er skrevet på bakgrunn av erfaringer fra AutoCAD Structural Detailing

2010 32-bit, men punktene som gjennomgås gjelder i stor grad også for andre versjoner av AutoCAD.

AutoCAD SD er i likhet med Revit et 3D-modelleringsverktøy som opererer med objekter. Men i motsetning til Revit, støtter ikke AutoCAD SD andre objektegenskaper enn geometri. AutoCAD SD er dermed ikke et fullverdig BIM-verktøy, men er likevel omtalt fordi det innehar modelleringsfunksjonalitet som Revit mangler. I avsnitt 5.1 ble det nevnt at Revit Structure ikke er godt egnet til å modellere konstruksjonsdetaljer, og AutoCAD SD er ment å utfylle Revit på dette området. Det finnes blant annet en rekke makroer som oppretter stålforbindelser mellom komponenter på bakgrunn av inndata. Figur 5.7 viser et eksempel på en forbindelse i AutoCAD SD.



Figur 5.7: Skjermskudd fra AutoCAD Structural Detailing

Det er utviklet en tilsvarende kobling mellom Revit og AutoCAD SD som det er mellom Revit og Robot (avsnitt 5.2). Revit-modellen kan eksporteres til AutoCAD SD og bygges videre på. I følge Autodesk (2010b) er koblingen toveis, som betyr at endringer foretatt med AutoCAD SD, kan importeres inn i Revit i etterkant.

Toveis-koblingen mellom Revit og AutoCAD SD fungerer dessverre ikke som forventet: Det er ikke mulig å overføre forbindelser laget i AutoCAD SD direkte inn i Revit, så det må benyttes en alternativ metode for å sammenstille modellene.

Med AutoCAD SD modelleres alle forbindelser i tre dimensjoner. Detaljene kan også vises i form av 2D-tegninger, ved å velge snitt fra modellen. Disse 2D-snittene eksporteres som egne DWG-filer, og kan lenkes til Revit-modellen. Lenking vil si at detaljtegningene blir en del av modellvisningen i Revit. All informasjon om detaljene vil fortsatt befinne seg i DWG-filen, og Revit-modellen

vil referere til denne. Dersom DWG-filen endres, vil modellvisningen i Revit oppdateres. Fullstendig fremgangsmåte for å produsere konstruksjonsdetaljer blir dermed (Technology 4 Design, 2009):

1. Lag en modell i Revit.
2. Eksporter modellen til AutoCAD SD ved hjelp av spesialkoblingen.
3. Modeller detaljene i AutoCAD SD.
4. Hent utvalgte 2D-snitt.
5. Finn tilsvarende snitt i Revit.
6. Lag en lenke mellom de to snittene ved hjelp av Revit.

Å lenke sammen snitt, fremfor å lenke sammen modeller, har ulemper: Konstruksjonsdetaljene er kun synlige i sine respektive snitt, og er usynlige i 3D-visninger av modellen. Objektinformasjonen er i dette tilfellet heller ikke tilgjengelig fra Revit.

AutoCAD Structural Detailing utfyller Revit Structure. Funksjonene til AutoCAD SD kan i teorien implementeres i Revit, slik at brukere har et modelleringsverktøy mindre å forholde seg til. Men det er ikke nødvendigvis formålstjenlig å bare bruke ett modelleringsverktøy. Det ene modelleringsverktøyet vil inneholde all funksjonalitet, med risiko for å bli komplisert og uoversiktlig. Det kan være ryddigere å bruke ulike verktøy for ulike arbeidsoppgaver. Da har brukeren alltid de nødvendige funksjonene tilgjengelig, og slipper å se unyttige funksjoner.

## 5.4 Autodesk Navisworks

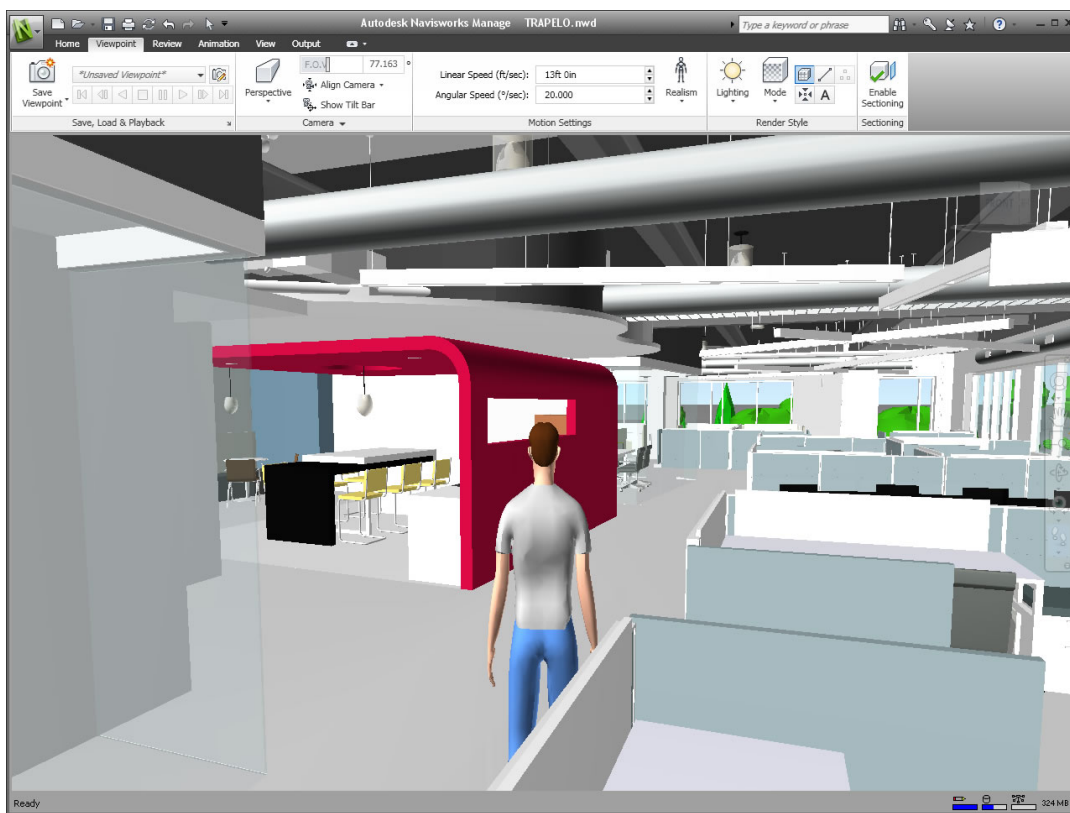
Autodesk Navisworks Manage, heretter omtalt som Navisworks, inneholder funksjoner for presentasjon og kontroll av modeller. Navisworks er i dag et nyttig verktøy for COWI Trondheim når modeller skal ferdigstilles og presenteres. Dette kapittelet er skrevet på bakgrunn av erfaringer fra Autodesk Navisworks Manage 2010 32-bit.

Navisworks har ingen modelleringsfunksjonalitet, og bruker modeller laget med andre verktøy. Både modeller i 3D og DAK-tegninger i 2D kan importeres. Navisworks støtter mer enn 25 filformater, deriblant filer fra Google Sketch-Up, AutoCAD og IFC. Modellfiler fra Revit støttes ikke direkte, men Navisworks-installasjonen inneholder en modul som gir Revit mulighet til å eksportere modellen som en Navisworks-fil.

En av Navisworks' nyttigste funksjoner er det å kunne sammenstille flere modeller til en helhetlig modell, for eksempel fra Revit Architecture, Revit Structure og Revit MEP. Det kan deretter kjøres kollisjonskontroller for å

finne bygningskomponenter som overlapper hverandre. Et eksempel på problem som kan oppstå, er at rør-installasjoner går tvers gjennom bærende søyler. Problematiske områder kan merkes og kommenteres, og informasjonen kan deles med andre ved å generere et dokument med alle merknader.

Figur 5.8 er et eksempel på hvordan modellen kan vises frem med Navisworks. Verktøyet tilbyr en 3D-visning der det er mulig å undersøke modellen fra innsiden. 3D-visningen kan programmeres, for å simulere en person som går gjennom hele bygningen, og åpner dører på veien. Navisworks kan også simulere bygging av modellen, ved å koble den mot en fremdriftsplan, og få informasjon om når hvert enkelt objekt oppføres.



Figur 5.8: Navisworks (Autodesk, 2010a)

3D-visningen i Navisworks krever generelt mindre maskinkraft enn 3D-visningen i modelleringsverktøy. Dette skyldes at Navisworks ikke inneholder funksjoner for å redigere modellen, og komprimerer modeller opp til 70 % av den originale filstørrelsen (AECBytes, 2008).

Avsnitt 3.4.4 om fremtidens BIM-løsning var inne på at en BIM-server bør ha integrerte verktøy, blant annet en modellutforsker. Navisworks kan brukes til å utforske modellen ved hjelp av modellsøk. Det er for eksempel mulig å finne alle bærende søyler, eller alle bygningskomponenter som har fått angitt en brannklasse. Søkene kan lagres for enkel gjenbruk på et senere tidspunkt.

Navisworks er et allsidig verktøy som tar i bruk informasjon fra en modell, uten å legge informasjon tilbake. Navisworks har følgende hovedfunksjoner:

- Sammenstilling av modeller fra ulike fagdisipliner og modelleringsverktøy.
- Visning av modellen. Kan produsere både stillbilder og videoer.
- Geometrisk kollisjonskontroll av modellen.
- Bruk av objektinformasjon.

Navisworks er kanskje det beste verktøyet i dag for å sammenstille og vise modeller, men kan ikke tilby like mange modellkontroller som Solibri Model Checker (presenteres i avsnitt 5.5). Bruk av objektinformasjon er det punktet hvor Navisworks har størst potensial. I siste versjon av verktøyet kan informasjonen kobles til fremdriftsplaner, men det finnes enda flere nyttige bruksområder. Objektene kan i fremtidige versjoner for eksempel kobles til en prisdatabank, for å produsere kostnadsoverslag.

## 5.5 Solibris BIM-verktøy

Solibri er en programvareleverandør som har spesialisert seg på å utvikle BIM-verktøy. Solibri Model Checker er ryggraden i Solibri sin BIM-løsning. Verktøyet har mye til felles med Navisworks, men er først og fremst et supplement, og ikke en erstatning for Navisworks. Solibri Model Checker sin styrke ligger i evnen til å kontrollere modellen etter egendefinerte regler, i tillegg til geometrisk kollisjonskontroll. Solibri kan tilsammen tilby fire BIM-verktøy som er ment å utfylle hverandre:

**Solibri Model Checker** Analyserer modellenes kvalitet og finner potensielle svakheter og fysiske mangler.

**Solibri Model Viewer** For 3D-visning og presentasjon av modeller.

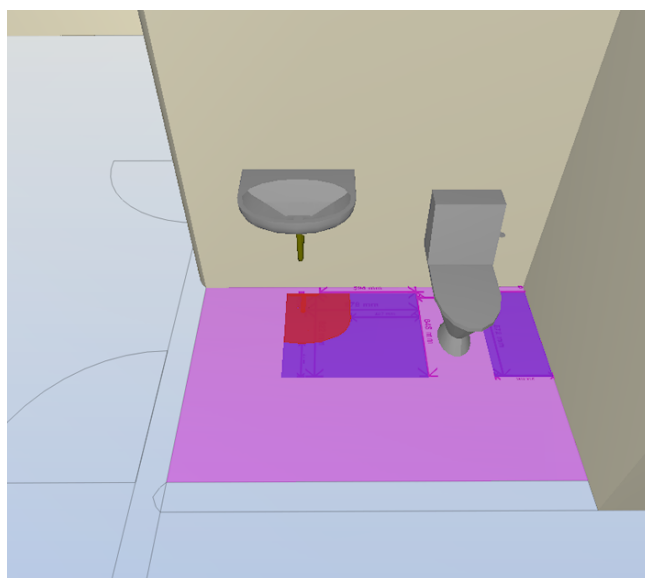
**Solibri IFC Optimizer** Komprimerer IFC-filer ved å fjerne all redundans, og har større komprimeringsgrad enn Navisworks (AECBytes, 2009b).

**Solibri Issue Locator** En kobling til modelleringsverktøyet for å enkelt kunne lokalisere problemer funnet med Solibri Model Checker.

De fire verktøyene tilbyr i fellesskap mye av den samme funksjonaliteten som Navisworks innehar. Det som taler til Navisworks sin fordel, er at Navisworks er bedre egnet til å sammenstille modeller fra ulike disipliner, og har flere muligheter når det gjelder presentasjon av modeller. Solibri Model Checker er et kommersielt produkt, men de tre andre verktøyene fra Solibri kan brukes uten kostnader.

Ingen av verktøyene kan redigere modeller, men brukes til å lese innholdet i IFC-modeller. Utenom IFC er DWG-filer det eneste som kan lese av verktøyene. I teorien kan det brukes modeller fra alle verktøy som støtter IFC-eksport, men i praksis har IFC-støtten i de fleste modelleringsverktøy mangler, så det kan lett oppstå tap eller forvrenging av informasjon i konverteringsprosessen.

Alle kontroller i Solibri Model Checker følger regelsett. Et bestemt regelsett foretar en geometrisk kollisjonskontroll, mens et annet regelsett kan kontrollere om det er tilstrekkelig med plass rundt et toalettet, slik at det uten problemer kan benyttes av rullestolbrukere (figur 5.9). Det er mulig å legge til egne regelsett, i motsetning til Navisworks.



Figur 5.9: Regelsjekker i Solibri Model Checker (Solibri, 2010)

En geometrisk kollisjonskontroll bidrar til å fjerne feil som i utgangspunktet ikke skal forekomme. Solibri Model Checker sine regelsett kan derimot si mye mer om bygningens kvalitet, og avdekke mangler som ikke kan oppfattes med det blotte øyet. Regelsettene bør ikke bare begrenses til å følge standarder og regelverk. Ved den nye barneavdelingen til Ålesund Sjukehus kan følgende spørsmål potensielt besvares ved hjelp av Solibri Model Checker:

- Hvilken løsning gir minst mulig pasienttransport?
- Hvor bør heiser plasseres?
- Hvor vil det kunne oppstå trengsel?
- Er det mulig å trille senger i alle deler av bygningen?
- Hvor i bygningen kan det oppstå ugunstige temperaturforhold?

Ved å besvare disse spørsmålene, viser Solibri Model Checker hvilken fordel BIM har fremfor tradisjonell prosjektering. Det største potensialet til BIM ligger i å gi svar på spørsmål som ikke kan besvares med tradisjonelle metoder.

### 5.6 Building Information Modelserver

Building Information Modelserver, heretter forkortet til BIMserver, er et verktøy for å sentralisere en bygningsinformasjonsmodell. Produktet består av en server som inneholder en database og et brukergrensesnitt. Brukergrensesnittet kan nås gjennom en nettleser, og inneholder alle serverens funksjoner. BIMserver er et forskningsprosjekt satt i gang av Eindhoven University of Technology. Verktøyet er gratis å bruke, og benytter åpen kildekode (BIMserver, 2010).



Figur 5.10: BIMserver sin logo

BIMserver tar utgangspunkt i en IFC-fil, og overfører filens informasjon til en database. Ikke noe av informasjonen går tapt eller blir forvrengt i overføringsprosessen. Det er bare informasjonens *beholder* som endres. Det er fortsatt IFC sine definisjoner på objektklasser som benyttes, i motsetning til når Revit importerer en IFC-modell.

Server-basert BIM har mange fordeler fremfor fil-basert BIM. De viktigste funksjonene til BIMserver følger nedenfor:

- Det er mulig å kjøre databasespørringer for å hente ut enkeltobjekter, uten at hele modellen må lastes ned.
- Flere brukere kan jobbe på modellen samtidig, og kan til og med redigere samme objekt.
- Ved modellendringer er det enkeltobjekter, og ikke komplette modeller, som lastes opp til serveren.

En modellserver kan på sikt føre til at modelleringsverktøy vil kreve mindre maskinkraft, og samtidig bli lettere å utvikle (Stressfree, 2009). For å finne antall dører i en modellfil, må verktøyet tolke hele modellfilen, og deretter lage en kopi av modellen i minnet før dørene kan telles. Ved bruk av en modellserver, trenger verktøyet bare å kjøre en spørring mot serveren.

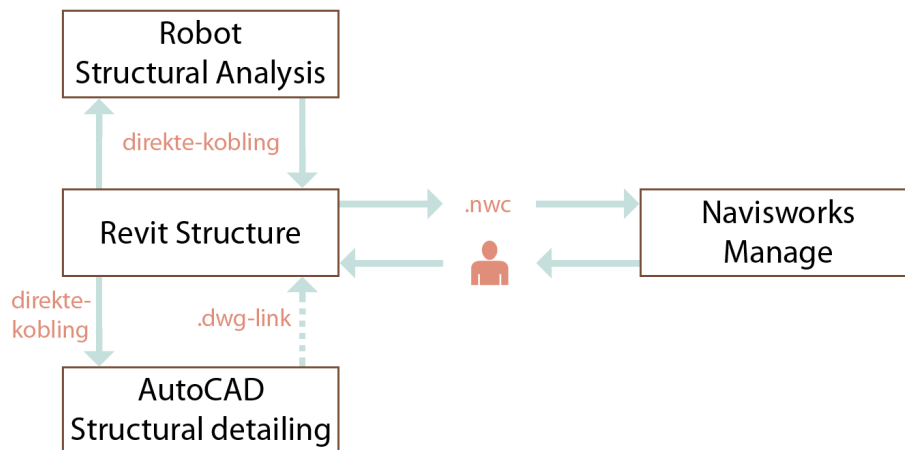
En modellserver er i praksis bare nyttig om modelleringsverktøyet støtter direkte bruk av serveren. Det vil si at modellen alltid er lagret i form av en database på serveren, og aldri i form av en fil.

## 5.7 Oppsummering

Fire av seks verktøy omtalt i dette kapitlet leveres av Autodesk. Disse produktene er ikke omtalt fordi de nødvendigvis er de beste på markedet, men produktvalget er en konsekvens av at COWI Trondheim i dag benytter seg av Autodesk Revit (Architecture og Structure), og ønsker å fortsette med det.

Verktøyene fra Autodesk er spesialtilpasset for å fungere godt sammen, og leverandøren fremhever at verktøyene inngår i en komplett BIM-løsning (Autodesk, 2010c). Dette kapitlet har gjennomgått BIM på Autodesk sine premisser, i motsetning til buildingSMART sin oppfatning av BIM (avsnitt 2.4) og fremtidens BIM-løsning (kapittel 3).

I Autodesk sin BIM-løsning er Revit-modellen i sentrum. Figur 5.11 viser at de tre andre verktøyene tar utgangspunkt i Revit-modellen, uten at det finnes en felles metode for hvordan modellen overføres mellom verktøyene. Revit krever mer ressurser enn både Robot, AutoCAD SD og Navisworks. Modellen kan endres med Robot og Navisworks, men Revit må fremdeles brukes for å oppdatere den sentrale modellen. Navisworks kan brukes til å vise modellen og hente frem objekttegenskaper, men kan ikke utføre selv mindre modellendringer.



Figur 5.11: Autodesk sin BIM-løsning

En vesentlig forskjell mellom fremtidens BIM-løsning og Autodesk sin BIM-løsning, er at i førstnevnte løsning er modellen uavhengig av et bestemt modelleringsverktøy. Det bør heller benyttes en løsning som tilsvarende BIMserver (avsnitt 5.6), et lite ressurskrevende verktøy som raskt kan hente frem og redigere modellinformasjon.



Revit, Robot og Navisworks har ikke alltid vært en del av Autodesk sin produktportefølje. Hvert enkelt verktøy ble i utgangspunktet utviklet av en liten programvareleverandør uten tilknytting til Autodesk, men ble etter hvert kjøpt opp av Autodesk som så produktets potensial. Navisworks var for eksempel et modent produkt før Autodesk tok verktøyet under sin paraply, og det har ikke skjedd store endringer av produktet de siste årene (AECBytes, 2008). Tabell 5.3 viser når hvert verktøy ble kjøpt opp av Autodesk (2002, 2007, 2008).

Tabell 5.3: Oppkjøp av BIM-verktøy

<b>Verktøy</b>	<b>Overtakelse</b>
Revit	2002
Navisworks	2007
Robot	2008

Autodesk sine BIM-verktøy har ikke blitt utviklet på bakgrunn av en helhetlig plan. Hvert verktøy har blitt utviklet separat, og deretter har de blitt koblet sammen til en komplett løsning. Dette i motsetning til fremtidens BIM-løsning, som stiller krav til verktøy ut fra et helhetlig perspektiv. Dette er nok grunnen til at det er mye overlapp mellom verktøyene. Både Revit, Robot og AutoCAD SD er jo alle modelleringsverktøy, og verken Robot eller AutoCAD er avhengige av en Revit-modell.

En mulig videre utvikling av Autodesk sin BIM-løsning, er å spesialisere hvert verktøy ytterligere. Mange modelleringsfunksjoner kan fjernes fra Robot og Autodesk SD, så de kan fokusere mer på henholdsvis konstruksjonsanalyser og -detaljer. Et annet alternativ er å stoppe utviklingen av AutoCAD SD, og heller inkludere verktøyets funksjonalitet i Revit.

Bruk av IFC inngår ikke som en viktig del av Autodesk sin BIM-løsning. IFC kan i teorien brukes, siden alle verktøy har implementert IFC-støtte, men i praksis fungerer direktekoblinger mellom verktøyene bedre. Et annet problem med at alle av Autodesk sine verktøy i utgangspunktet er utviklet uavhengig av hverandre, er at de opererer med ulike objektklassedefinisjoner i form av sine egne lagringsformater. Bruk av IFC vil ikke være en løsning i denne sammenheng, og vil i stedet innføre et ekstra ledd ved overføring av modeller.

De mest nyskapende produktene som er presentert i dette kapitlet, Solibri Model Checker og BIMserver, er ikke en del av Autodesk sin produktportefølje. Solibri Model Checker brukes av COWI i dag, og har allerede demonstrert fordelene bruk av BIM gir i forhold til tradisjonell prosjektering. BIMserver er i praksis uegnet å bruke i samspill med Autodesk sin BIM-løsning, men åpner for en ny tilnærming til BIM.

# Kapittel 6

## Nye arbeidsmetoder

Fremtidens BIM-løsning, presentert i kapittel 3, er en helhetlig løsning som er ment å tilrettelegge for optimal bruk av BIM. I kapittel 5, der dagens BIM-verktøy ble omtalt, kom det tydelig frem at det er avvik mellom dagens BIM-løsninger og fremtidens BIM-løsning.

Den mest vesentlige forskjellen er at de fleste av dagens BIM-verktøy har sin egen objektmodell i grunn. Selv om den nøyaktig samme bygningen modelleres i Autodesk Revit og Graphisoft ArchiCAD, vil de fullførte modellene ha store ulikheter. Modelleringsverktøyene har ikke de samme objektklassedefinisjonene, noe som vil si at Revit ikke har nøyaktig samme oppfatning som ArchiCAD om hva en vegg, en linjelast eller en etasje er.

Det er ikke mulig å oppnå fremtidens BIM-løsning ved å bygge videre på de verktøyene som brukes i dag. COWI kan oppnå fordeler ved å ta utgangspunkt i dagens arbeidsmetoder, men de vil på lang sikt ha større utbytte av å utvikle en ny løsning fra grunnen av.

Dette kapitlet inneholder to forslag til hvordan COWI kan endre sine arbeidsmetoder for å bruke BIM mer effektivt:

- Det første forslaget er en kortsiktig løsning som bygger på dagens bruk av BIM, med den hensikt å utnytte mulighetene dagens BIM-verktøy gir.
- Det andre forslaget er en langsiktig løsning som forteller hvordan fremtidens BIM-løsning oppnås, ved å bygge den opp fra grunnen av.

### 6.1 Med dagens BIM-verktøy

COWI Trondheim har gradvis innført bruken av BIM, med utgangspunkt i Autodesk Revit som modelleringsverktøy. En nærliggende løsning vil være å bygge videre på det arbeidet som allerede er gjort, og øke bruken av BIM ved å ta i bruk nye verktøy. I dag benyttes BIM på følgende områder:

- Alle disipliner bruker modelleringsverktøy. ARK og RIB benytter seg av Revit, mens RIE og RIV foreløpig bruker AutoCAD Architecture + MagiCAD.
- Navisworks brukes til å presentere og sammenstille modeller.
- Solibri Model Checker brukes til å kontrollere modeller.

COWI begynner modelleringen av bygninger ved prosjektstart, så de har et godt BIM-fundament å bygge videre på. Kapittel 4.7 inneholdt en liste over hvilke punkter i COWIs prosjektering som kan forbedres. Neste steg i innføringen av BIM bør være å løse disse problemene:

- Mange detaljer tegnes i 2D, uten å legges tilbake i modellen.
- Det benyttes ikke dimensjoneringsverktøy som støtter BIM.
- Revit-modellene til ARK og RIB kan lenkes sammen underveis, men kan ikke lenkes sammen med modellene til RIV og RIE.
- Det finnes ikke en infrastruktur for kommunikasjon og distribusjon av informasjon.

De neste avsnittene vil drøfte hvordan Autodesk sin BIM-løsning kan brukes til å løse problemene nevnt ovenfor. I tillegg kommer et avsnitt som forteller hvor BuildingSMART sine teknologier hører hjemme i denne løsningen.

### 6.1.1 Konstruksjonsdetaljer

Det er to årsaker til at COWI ikke modellerer alle konstruksjonsdetaljer:

1. Verktøyene som brukes er ikke gode nok. Revit er ikke egnet til å modellere detaljer, og koblingen mellom Revit og de nåværende detaljeringsverktøyene holder ikke høy nok kvalitet.
2. Deres primære mål med prosjekteringen er å produsere tegningsgrunnlag i 2D for bruk av entreprenør.

AutoCAD Structural Detailing er egnet til å modellere detaljer, og har en toveis kobling mot Revit. Koblingen er ikke perfekt (avsnitt 5.3), men den åpner for økt gjenbruk av informasjon.

Det er mer tidkrevende å modellere detaljer enn å tegne dem. Modellering innebærer nemlig at hele detaljen må betraktes, i motsetning til DAK, der bare utvalgte snitt av detaljen trenger å tegnes. Den største utfordringen blir å bevisstgjøre de ansatte om hvilke fordeler en modell oppbygd av objekter gir, hvis ikke kan modelleringen fremstå som en tungvint og unødvendig arbeidsmetode.

Alle detaljer bør selvfølgelig bare modelleres om informasjonen senere skal brukes, i tråd med tredje grunnprinsipp fra avsnitt 2.1: *Unngå dobbeltarbeid og unødvendig informasjon*. Dette stiller krav til at både entreprenør og andre rådgivere utnytter objektinformasjonen.

### 6.1.2 Dimensjoneringsverktøy

Bruk av BIM åpner for at dimensjoneringen hos COWI kan endres betraktelig. Siden dagens dimensjoneringsverktøy ikke støtter BIM, er det vanskelig å gjenbruke informasjon fra tidligere kapasitetskontroller. For å slippe dobbeltarbeid, utføres dermed dimensjoneringen bare på et overordnet nivå i forprosjektet. Det foretas kontroller av generiske bygningskomponenter, fremfor å kontrollere den faktiske konstruksjonen. Fullstendig kontroll av bæresystemet forekommer først i detaljprosjektet.

Robot Structural Analysis kan erstatte dagens dimensjoneringsverktøy, og har i likhet med AutoCAD SD en toveis kobling til Revit. Robot støtter både rammekonstruksjoner og avanserte analyser ved hjelp av elementmetoden. Robot sin funksjonalitet bør undersøkes nærmere av COWI, for å kontrollere at verktøyet tilfredsstillende alle deres krav.

Ved bruk av Robot kan det foretas fullstendige kapasitetskontroller tidligere i prosjekteringen. Det skal i utgangspunktet være lite tidkrevende å kjøre en analyse med Robot, i og med at verktøyet bruker den eksisterende Revit-modellen.

Overføringen av modeller mellom Robot og Revit er ikke perfekt, men er sannsynligvis det dimensjoneringsverktøyet som i dag kommuniserer best med Revit.

### 6.1.3 Tverrfaglig samarbeid

Hos COWI jobber ARK, RIB, RIV og RIE med separate modeller. Dette har sin fordel, siden hver faggruppe bare trenger å jobbe med bygningsdeler som er relevante for dem. Den store utfordringen er å plassere de bygningskomponentene som flere modeller har til felles, for eksempel bæresystemet.

ARK og RIB sine Revit-modeller kan lenkes sammen, slik at de kan se hverandres bæresystem, og koordinere plasseringen av søyler og bjelker seg i mellom. Modellene til RIV og RIE i AutoCAD Architecture kan ikke lenkes inn i Revit-modellene på samme måte. Modellene kan bare sammenstilles ved hjelp av Navisworks, som ikke har noen direkte kobling til noen av de andre verktøyene. Hver gang modellene skal sammenstilles, må de eksporteres som en Navisworks-fil. Siden Navisworks ikke har noen muligheter til å redigere modellen, må hver faggruppe i etterkant endre modellen i sine respektive modelleringsverktøy. Om dimensjonen på en søyle skal økes, må endringen foretas fire ganger, én gang for hver fagmodell.

Om RIV og RIE tar i bruk Revit, kan alle modeller lenkes sammen underveis i prosjekteringen, uten å måtte bruke Navisworks. Søylen må fortsatt endres fire ganger, men den direkte lenken gjør det enklere å koordinere modellendringer. Kollisjoner mellom komponenter i de ulike modellene kan dessuten oppdages på et mye tidligere tidspunkt.

### 6.1.4 Infrastruktur

Autodesk sin BIM-løsning kan ikke tilby en infrastruktur som gjør det enkelt for prosjektdeltakere å kommunisere og dele modeller. COWI bør derfor undersøke om det finnes alternative verktøy som kan fungere i samspill med Revit-modellen.

Et verktøy som ikke ble omtalt i kapittel 5, men som COWI kan se nærmere på, er Vico Office Suite. Dette er en BIM-plattform som tilrettelegger for publisering og sammensetting av modeller, og støtter både Revit- og IFC-modeller (Vico Software, 2010). Alternativet er å utvikle en ny løsning fra grunn av, gjerne internettbasert.

### 6.1.5 BuildingSMART

Verken IFC eller andre BuildingSMART-teknologier er nevnt i denne løsningen så langt, siden avsnitt 5.2 viste at IFC har store begrensninger. Så lenge verktøyene kan kommunisere direkte med hverandre, vil bruk av IFC innføre et ekstra ledd i kommunikasjonen.

IFC bør bare brukes dersom andre alternativer ikke er tilgjengelige, for eksempel om modellen må åpnes i et verktøy som ikke har en direkte kobling mot Revit. Solibri Model Checker kan ikke lese Revit-modeller, og her er bruk av IFC det eneste alternativet.

## 6.2 Med fremtidens BIM-løsning

En BIM-løsning for fremtiden kan utvikles parallelt med den kortsiktige løsningen. Utviklingen bør betraktes som et forskningsprosjekt med langsiktige mål for å bidra til at sluttresultatet holder meget høy kvalitet. Innholdet i fremtidens BIM-løsning er allerede presentert i kapittel 3. Dette avsnittet inneholder retningslinjer som bør følges når løsningen utarbeides fra grunnen av.

I fremtidens BIM-løsning settes bygningsinformasjonsmodellen og dens teknologi i sentrum. Det vil bare være én modell-teknologi, i motsetning til i dag, hvor det finnes IFC-modeller, Revit-modeller og ArchiCAD-modeller om hverandre. Alle verktøy skal bruke de samme objektklassedefinisjonene, og dermed vil det ikke spille noen rolle hvilket verktøy som benyttes til å lage modellen.

BuildingSMART sitt mål med IFC er at bruk av BIM skal være uavhengig av et spesifikt verktøy. Dette målet vil aldri nås, så lenge IFC kun er et format

som overfører bygningen fra den ene objektmodellen til den andre. Det er i teorien mulig å bruke IFC som den sentrale teknologien i fremtidens BIM-løsning, men i praksis vil dette være en dårlig løsning, siden IFC har store svakheter. BuildingSMART sin teknologi bygger ikke på et sett med grunnprinsipper, og IFC tilfredsstillende ikke de kravene som stilles til bygningsinformasjonsmodellen i avsnitt 3.2.

Modellen er en forenkling av virkeligheten, og kan ikke omfatte alt og alle. Involverer alle relevante aktører i utviklingen av løsningen, både rådgivere, entreprenører og byggherrer. Sett grenser for hva modellen skal inneholde, og hvem den skal brukes av.

I avsnitt 2.4 ble det nevnt at BIM består av tre grunnleggende elementer: *Teknologi*, *verktøy* og *arbeidsprosesser*. I de følgende avsnittene behandles hvert element nærmere.

### 6.2.1 Teknologi

Med teknologi menes først og fremst BIM-løsningens objektmodell, som skal ta vare på og strukturere informasjon om bygningen. Et objekt i modellen er en forekomst av en objektklasse. En gitt dør i en bygning er for eksempel en forekomst av objektklassen *dør*. I Norge inngår både dørbladet og karmen i begrepet *dør*, mens i England inngår bare dørbladet i begrepet *door* (IFD Library, 2007). Det er viktig med klare definisjoner av objektklassene, så det ikke er noen tvil om hva som menes med hvert konsept.

Det inngår flere komponenter i en objektmodell. Objekter har data, i form av egenskaper og tilstander, og oppførsel. Relasjoner knytter objekter til hverandre. I følge Syvertsen (2009) kan en objektmodellen utarbeides på følgende måte:

1. Identifiser objekter og klasser.
2. Lag en dataordbok med begreper, symboler og syntaks som forteller hvordan informasjonen i modellen skal struktureres.
3. Identifiser assosiasjoner mellom klassene. Alle avhengigheter mellom to eller flere klasser er en assosiasjon
4. Identifiser attributter for objekter og lenker.
5. Organiser og forenkle klassene ved hjelp av arv.
6. Verifiser at det er mulig å hente ønsket informasjon fra modellen.
7. Iterer og raffiner modellen.
8. Grupper klassene i moduler.

All informasjon bør ikke være del av en altomfattende modell. Modellene bør deles inn etter disipliner med ulikt abstraksjonsnivå. Disipliner som betrakter bygningen på vidt forskjellige måter, bør ha egne modeller. En åpenbar forskjell på to fagområder som har ulikt syn på bygningen, er en landskapsarkitekt og RIB. Også RIB og RIV vil bruke en bygningsinformasjonsmodell så ulikt, at det kan være en fordel at de har hver sin modell.

En del bygningskomponenter vil ha en forekomst i flere modeller. Bæresystemets geometri og posisjon vil både arkitekt, RIB, RIV og RIE ha bruk for. Det er den samme bygningskomponenten som inngår i hver modell, men komponenten har ulik rolle i de respektive modellene. I en RIB-modell er søylens rolle å være en del av bæresystemet, mens i RIV-modellen er den en obstruksjon, som forteller ingeniøren hvor rør *ikke* kan plasseres. Denne retningen av objektmodellering kalles subjektmodellering (Syvertsen et al., 1992).

### 6.2.2 Verktøy

BIM-verktøy er programvare som kan bruke og manipulere modellens informasjon. I dag er bedrifter avhengige av programvareleverandører for å kunne redigere modeller. En Revit-modell kan kun lages og modifiseres dersom bedriften har en Revit-lisens, og det samme gjelder også for andre ledende modelleringsverktøy. Bedrifter kan ytre sine ønsker om hvilke funksjoner verktøyene bør tilby, men det er i realiteten programvareleverandørene som styrer mye av utviklingen.

Rådgivere er i utgangspunktet ikke avhengig av programvare for å utføre sine arbeidsoppgaver. Før bruk av datamaskiner ble innført, både tegnet og regnet de for hånd. Programvareleverandører derimot, er avhengige av å ha kunder som benytter deres produkter. Byggebransjen bør utnytte situasjonen til sin fordel, og stille større krav til programvareleverandørene. Med fremtidens BIM-løsning, som benytter en nøytral objektmodell, vil det være mye enklere å bytte fra det ene verktøyet til det andre. Dette legger til rette for sunn konkurranse mellom programvareleverandørene, som vil være nødt til å utvikle glimrende verktøy for å ha eksistensgrunnlag.

COWI må selv identifisere sine behov for verktøy. Ta utgangspunkt i at hver arbeidsoppgave behøver sitt eget verktøy. Da vil verktøyene bare inneha funksjonalitet som er relevant for den oppgaven som skal utføres. Dersom to arbeidsoppgaver i stor grad overlapper med hverandre, eller utføres samtidig, kan det være en god løsning at det samme verktøyet brukes til å utføre begge oppgavene. Det er ressurskrevende å forholde seg til mange verktøy samtidig, og det tar tid å bytte mellom ulike programmer.

### 6.2.3 Arbeidsprosesser

BIM handler ikke om å standardisere arbeidsprosesser, men om å legge til rette for effektiv prosjektering som gir gode bygninger. Samprosjektering (avsnitt 2.3) har

vist seg å være en arbeidsmetode som fungerer godt til kreativt ingeniørarbeid, og COWI bør ta stilling til sentrale prinsipper fra samprosjektering når de utvikler nye arbeidsmetoder for bruk av BIM.

Innføringen av BIM kan sammenlignes med innføringen av DAK på 80- og 90-tallet. I stedet for å lage tegninger for hånd, ble det med DAK mulig å lage digitale 2D-tegninger. Bruk av DAK hadde klare fordeler fremfor håndproduksjon av tegninger, og det ble blant annet mye lettere å kopiere, redigere og distribuere tegninger.

Selv om ingeniørene fikk et nytt hjelpemiddel, utførte de fortsatt den samme jobben som tidligere. DAK var ikke svaret på byggebransjens grunnleggende problemer, men åpnet for at eksisterende arbeidsoppgaver kunne løses mer effektivt.

Overgangen fra DAK til BIM vil bety mye mer enn overgangen fra håndtegninger til DAK, men det forutsetter at BIM ikke blir betraktet som et bytte av hjelpemiddel. Det er programvaren som er hjelpemidlene, ikke BIM i seg selv. Dagens datakraft bør utnyttes til å løse bransjens grunnleggende problemer, som tradisjonelle arbeidsmetoder ikke kan gi svar på. Først når det skjer, vil skeptiske brukere bli overbevist om at det er verdt å satse på utviklingen av BIM-løsninger.



# Kapittel 7

## Konklusjon

Denne masteroppgaven har forsøkt å definere hva optimal bruk av BIM er. Både med tanke på hvordan informasjonen i en bygningsinformasjonsmodell kan utnyttes effektivt, og hvordan arbeidsmetodene må utformes for å oppnå dette.

Det er utarbeidet et forslag til hvordan COWI kan forbedre sin bruk av BIM, ved å modifisere deres nåværende arbeidsmetoder. Forslaget kan oppsummeres i følgende punkter:

- Alle disipliner lager modeller i Autodesk Revit, som står i sentrum av løsningen.
- Revit-modellene lenkes sammen for å tilrettelegge for samarbeid på tvers av disiplinene.
- Modellering av detaljer ved hjelp av AutoCAD Structural Detailing øker bevisstheten om fordelene med en 3D-modell.
- Dimensjonering og konstruksjonsanalyser ved hjelp av Autodesk Robot Structural Analysis reduserer dobbeltarbeid, og fører til mer gjenbruk av informasjon.

Løsningen er et resultat av at COWI innfører bruken av BIM gradvis. Med denne fremgangsmåten risikerer COWI at BIM tilpasses dagens arbeidsmetoder, i stedet for at det utvikles nye arbeidsmetoder som er mer egnet til BIM-bruk. Det er derfor også utarbeidet et alternativt forslag, som forteller hvordan COWI kan oppnå målet om å bruke BIM optimalt ved å utvikle en ny, langsiktig løsning helt fra grunnen av.

COWI har inngått et samarbeid med fem andre rådgivende ingeniørfirma i Norge, og gruppen har i fellesskap utarbeidet hovedmål for bruk av BIM (se vedlegg B). Målene bærer preg av å være lite konkrete, og ingen av dem kan kvantifiseres. Bruk av BIM bør ikke være et mål i seg selv. Målet bør være å prosjektere bedre bygninger, i dette tilfellet ved hjelp av BIM.

---

Byggebransjen opplever store effekter av BIM, selv om prosjekteringen skjer ved hjelp av gamle metoder. Kollisjonskontroller bidrar blant annet til at antall byggefeil reduseres. Bygningens kvalitet har med andre ord økt, og gått fra uakseptabel til normal standard. Feil skal i utgangspunktet ikke forekomme. Det er først når BIM brukes i tospann med samprosjektering, at glimrende bygninger blir resultatet.

Det grunnleggende problemet med dagens BIM-løsninger, er at alle modelleringsverktøy bygger på ulik kodebase med forskjellige objektklassedefinisjoner. BuildingSMART lanserte IFC som en løsning på dette problemet, men å bruke IFC som et format for filoverføring er en kortsiktig løsning, og er langt fra perfekt.

BIM sitt potensial kan aldri utnyttes ved å ta utgangspunkt i dagens BIM-verktøy. Den beste løsningen vil være å utarbeide en ny BIM-løsning fra grunnen av, med en bygningsinformasjonsmodell i form av en database, uavhengig av et bestemt verktøy. BIMserver (avsnitt 5.6) er et konsept det er verdt å utvikle videre, men det bør implementeres støtte for andre datamodeller enn IFC.

## Videre arbeid

BIM åpner for at bygningsinformasjon kan produseres og benyttes av mange ulike aktører, både rådgivere, byggherrer, entreprenører og brukere av bygningen. Denne rapporten har undersøkt hvordan RIB kan arbeide med bygningsinformasjonsmodeller, men har bare så vidt berørt andre rådgivende ingeniørfag.

Det er stort sett bare programvare fra Autodesk som ble omtalt i kapittel 5. Det kan være verdt å sammenligne Autodesk sin BIM-løsning med alternative BIM-løsninger, for eksempel produktpakken med Tekla Structures, Vico Software og SAP2000 fra leverandøren EDR (2009).

Fremtidens BIM-løsning er fortsatt mangelfull, og det er i avsnitt 3.6 nevnt utfordringer som bør løses. Denne oppgaven har blant annet ikke gått i detalj på hvordan bygningens objektmodell bør utformes.

På bakgrunn av forholdene nevnt i dette avsnittet, følger det nedenfor tre forslag til fremtidig arbeid som kan bygge på denne masteroppgaven:

1. Undersøk hvordan andre disipliner kan bruke BIM på en god måte.
2. Kartlegg muligheter og begrensninger med alternative BIM-løsninger.
3. Jobb videre med utviklingen av fremtidens BIM-løsning.

# Bibliografi

- AECBytes. Autodesk NavisWorks 2009, 2008. Tilgjengelig fra <http://aecbytes.com/review/2008/NavisWorks2009.html>. [Lest 10. juni 2010].
- AECBytes. ArchiCAD 13: AECBytes Product Review, 2009a. Tilgjengelig fra <http://www.aecbytes.com/review/2009/ArchiCAD13.html>. [Lest 10. juni 2010].
- AECBytes. Solibri Model Checker, 2009b. Tilgjengelig fra <http://aecbytes.com/review/2009/SolibriModelChecker.html>. [Lest 10. juni 2010].
- Arkitektfirmaet C.F. Møller. Ålesund Sykehus, new paediatric unit, 2009. Tilgjengelig fra <http://www.cfmoller.com/siteCFM/projectdetail.asp?x=&langcurr=2.1.1&detail=2097>. [Lest 10. juni 2010].
- Autodesk. Autodesk - Investor Relations - News Release, 2002. Tilgjengelig fra <http://investors.autodesk.com/phoenix.zhtml?c=117861&p=irol-newsArticle&ID=261618>. [Lest 10. juni 2010].
- Autodesk. Autodesk Completes Acquisition of NavisWorks, 2007. Tilgjengelig fra <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/item?siteID=123112&id=10035975&linkID=14271591>. [Lest 10. juni 2010].
- Autodesk. Autodesk Completes Acquisition of Robobat, 2008. Tilgjengelig fra [http://images.autodesk.com/adsk/files/roboat\\_close\\_press\\_release\\_final.pdf](http://images.autodesk.com/adsk/files/roboat_close_press_release_final.pdf). [Lest 10. juni 2010].
- Autodesk. Autodesk Navisworks Products - Navisworks Features, 2010a. Tilgjengelig fra [http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=10578828#channels\\_Project%20Viewing](http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=10578828#channels_Project%20Viewing). [Lest 10. juni 2010].
- Autodesk. Autodesk - AutoCAD Structural Detailing - Features, 2010b. Tilgjengelig fra [http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=12300313#channels\\_Collaboration](http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?siteID=123112&id=12300313#channels_Collaboration). [Lest 10. juni 2010].
- Autodesk. Products for Building Information Modeling, 2010c. Tilgjengelig fra <http://usa.autodesk.com/company/building-information-modeling/products>. [Lest 10. juni 2010].

- Autodesk. Revit Architecture, 2010d. Tilgjengelig fra <http://www.autodesk.no/adsk/servlet/pc/index?siteID=446819&id=14609041>. [Lest 10. juni 2010].
- E.L. Ayers, L.L. Gould, D.M. Oshinsky, og J.R. Soderlund. *American passages: a history of the United States*. Wadsworth Pub Co, 2008.
- L.R. Bachman. Architecture and the four encounters with complexity. *Embracing Complexity in the Built Environment*, 4:15–30, 2008.
- Bentley. STAAD.Pro V8i, 2010a. Tilgjengelig fra <http://www.bentley.com/en-US/Products/STAAD.Pro/>. [Lest 10. juni 2010].
- Bentley. Microstation, 2010b. Tilgjengelig fra <http://www.bentley.com/en-US/Products/microstation+product+line/>. [Lest 10. juni 2010].
- BIMserver. About, 2010. Tilgjengelig fra <http://www.bimserver.org/about/>. [Lest 10. juni 2010].
- BuildingSMART Norge. Steen Sunesen ansatt som daglig leder i buildingSMART Norge, 2010. Tilgjengelig fra <http://buildingsmart.no/article504.html>. [Lest 10. juni 2010].
- D.E. Carter og B.S. Baker. *CE, concurrent engineering: the product development environment for the 1990s*. Addison Wesley Publishing Company, 1992.
- Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Tall Buildings Database, 2010. Tilgjengelig fra <http://buildingdb.ctbuh.org/>. [Lest 10. juni 2010].
- COWI. Om COWI, 2010. Tilgjengelig fra <http://www.cowi.no/topmenu/aboutcowi/Pages/omcowi.aspx>. [Lest 10. juni 2010].
- Dagens Næringsliv. Flom av byggefeil, 2009. Tilgjengelig fra <http://www.dn.no/eiendom/article1619233.ece>. [Lest 10. juni 2010].
- EDR. Produkter, 2009. Tilgjengelig fra <http://www.edr.no/produkter>. [Lest 10. juni 2010].
- FEM-Design. FEM-Design, 2010. Tilgjengelig fra <http://www.fem-design.com/>. [Lest 10. juni 2010].
- Focus Software. Focus Konstruksjon 2010, 2010. Tilgjengelig fra <http://www.focus.no/produkter/konstruksjon.html>. [Lest 10. juni 2010].
- Graphisoft. ArchiCAD 14 Overview, 2010. Tilgjengelig fra <http://www.graphisoft.com/products/archicad/>. [Lest 10. juni 2010].

- M. Haugsand. BuildingSMART: Status og fremtid. Prosjektoppgave, Institutt for Konstruksjonsteknikk, 2009.
- Helse- og omsorgsdepartementet. FOR 2000-12-01 nr 1217: Forskrift om barns opphold i helseinstitusjon, 2008. Tilgjengelig fra <http://www.lovdatab.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-20001201-1217.html>. [Lest 10. juni 2010].
- Helse Midt-Norge. Bedre tilbud til barn i Ålesund, 2009. Tilgjengelig fra [http://www.helse-midt.no/templates/StandardMaster\\_\\_\\_97888.aspx](http://www.helse-midt.no/templates/StandardMaster___97888.aspx). [Lest 10. juni 2010].
- Helse Sunnmøre. Ny barneavdeling - Status for arbeidet, 2009. Tilgjengelig fra [http://www.helse-midt.no/templates/StandardMaster\\_\\_\\_95777.aspx?epslanguage=NO](http://www.helse-midt.no/templates/StandardMaster___95777.aspx?epslanguage=NO). [Lest 10. juni 2010].
- Holte Byggsafe. Produkter tilpasset rådgivende ingeniører, 2010. Tilgjengelig fra <http://www.holtebyggsafe.no/radgivende.aspx>. [Lest 10. juni 2010].
- TC Howie, JC Kunz, og KH Law. Software Interoperability; TR1 17, Center for Integrated Facility Engineering. *Stanford University*, 12, 1997.
- IAI Tech International. IFC2x4 beta documentation, 2009. Tilgjengelig fra <http://www.iai-tech.org/ifc/IFC2x4/beta2/html/index.htm>. [Lest 10. juni 2010].
- IFD Library. IFD In A Nutshell, 2007. Tilgjengelig fra [http://dev.ifd-library.org/index.php/Ifd:IFD\\_in\\_a\\_Nutshell](http://dev.ifd-library.org/index.php/Ifd:IFD_in_a_Nutshell). [Lest 10. juni 2010].
- Kommunal- og arbeidsdepartementet. *Bygningsloven 150 år - 1845-1995, lovens opprinnelse og utvikling*. Kommunal- og arbeidsdepartementet, 1995.
- A. Kusiak. *Concurrent engineering: automation, tools, and techniques*. Wiley-Interscience, 1993.
- McGraw-Hill Construction. Top 125 years in enr history, 1999. Tilgjengelig fra <http://enr.construction.com/advertise/aboutUs/125enrHistory/990419.asp>. [Lest 10. juni 2010].
- Norconsult Informasjonssystemer. ISY Calcus, 2010a. Tilgjengelig fra <http://www.nois.no/?aid=9079647>. [Lest 10. juni 2010].
- Norconsult Informasjonssystemer. ISY G-PROG, 2010b. Tilgjengelig fra <http://www.nois.no/?did=9073943>. [Lest 10. juni 2010].

- T.P.T. Pazlar. Interoperability in practice: Geometric data exchange using the IFC standard. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 2008.
- G. Reese og A. Oram. *Database Programming with JDBC and JAVA*. O'Reilly & Associates, Inc. Sebastopol, CA, USA, 2000.
- Sivilingeniør Ove Sletten. Beregningsprogrammer for betongkonstruksjoner, 2010. Tilgjengelig fra <http://www.ove-sletten.no/programmer.htm>. [Lest 10. juni 2010].
- Solibri. Solibri Model Checker - Screenshots, 2010. Tilgjengelig fra <http://solibri.com/solibri-model-checker/screenshots.html>. [Lest 10. juni 2010].
- Standard Norge. Produktpresentasjon - Eurokode 1, 2010a. Tilgjengelig fra <http://www.standard.no/no/Sok-og-kjop/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductId=424304>. [Lest 10. juni 2010].
- Standard Norge. Produktpresentasjon - NS 3031, 2010b. Tilgjengelig fra <http://www.standard.no/no/Sok-og-kjop/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductId=283488>. [Lest 10. juni 2010].
- Statsbygg. BIM-manual 1.1, 2009. Tilgjengelig fra <http://statsbygg.no/FilSystem/files/prosjekter/BIM/SB-BIMmanual1-1mVedl.pdf>. [Lest 10. juni 2010].
- Stressfree. BIMserver and the potential of server-side BIM, 2009. Tilgjengelig fra [http://www.stress-free.co.nz/bimserver\\_and\\_the\\_potential\\_of\\_serverside\\_bim](http://www.stress-free.co.nz/bimserver_and_the_potential_of_serverside_bim). [Lest 10. juni 2010].
- J. Surowiecki. *Wisdom of Crowds: Why the Many Are Smarter Than the Few and How Collective Wisdom Shapes Business, Economies, Societies and Nations*. New York: Doubleday, 2004.
- T. G. Syvertsen. Forelesningsnotater, TKT4505-8 Objektmodellering, 2009.
- T. G. Syvertsen, Frank Lillehagen, og Morten Løvstad. A Generic Model for Engineering Design. *TOOLS Europe '92, Dortmund*, 1992.
- Technology 4 Design. Making the right connections, 2009. Tilgjengelig fra <http://www.technology4design.com/?tag=autocad-structural-detailing>. [Lest 10. juni 2010].
- Teknisk Ukeblad. BIM-guttene klare for innsats, 2010. Tilgjengelig fra <http://www.tu.no/bygg/article244433.ece>. [Lest 10. juni 2010].

Vico Software. Vico Office Suite, 2010. Tilgjengelig fra <http://www.vicosoftware.com/products/Vico-Office/tabid/85286/Default.aspx>. [Lest 10. juni 2010].

World Wide Web Consortium. HTML Design Principles, 2007. Tilgjengelig fra <http://www.w3.org/TR/2007/WD-html-design-principles-20071126/>. [Lest 10. juni 2010].

# Vedlegg A

## Forkortelser

---

<b>ARK</b>	Arkitekt
<b>BIM</b>	Bygningsinformasjonsmodellering
<b>DAK</b>	Data-assistert konstruksjon
<b>RIB</b>	Rådgivende Ingeniør Bygg
<b>RIE</b>	Rådgivende Ingeniør Elektro
<b>RIV</b>	Rådgivende Ingeniør VVS

---



## Vedlegg B

### Hovedmål for bruk av BIM

COWI, Sweco, Multiconsult, Norconsult, Asplan Viak og Rambøll har i fellesskap utviklet en slagplan for å sette fart i bruk og utvikling av BIM. Nedenfor er fempunkts-mandatet de har blitt enige om å følge (Teknisk Ukeblad, 2010).

**Kundene skal motiveres til å benytte BIM.** Gruppen skal jobbe for kompetanseheving og motivere kunder og samarbeidspartnere til å bruke BIM.

**Stille krav til programvareleverandørene.** Gruppen skal identifisere de viktigste utfordringene med dagens programvare og bruke sin styrke til å stille krav. Bruk av åpne standarder står sentralt.

**Arbeidsmetoder for bruk av BIM.** De seks bedriftene skal dele erfaringer om hvordan de som rådgivere best kan arbeide i flerfaglige BIM-prosjekter og fokusere på hvordan fagkompetansen til rådgiverne kan inkluderes i prosessen for å skape gode bygg og merverdi for kunden.

**Samarbeide med BuldingSmart Norge.** Gruppen skal søke samarbeid og være med på å utvikle IFC, IFD og IDM sammen med andre aktører.

**Juridisk håndtering av BIM-kontrakter.** Gruppen skal arbeide for å implementere BIM i kontraktene og se på hvordan BIM reflekteres i kontraktene når det gjelder bruk, ansvar og eierskap.

# Vedlegg C

## Kollektiv intelligens

I boken *Wisdom of Crowds* identifiserer Surowiecki (2004) fire elementer som må være tilstede for at integrasjon skal øke prestasjoner:

1. **Mangfold:** Deltakerne bør ha egne meninger basert på individuelle erfaringer og tenkning.
2. **Uavhengighet:** Deltakernes meninger bestemmes ikke av hva andre mener.
3. **Desentralisering:** Hver og en må trekke på lokal informasjon og spesialisering.
4. **Integrasjon:** Det må finnes en fellesnevner som gjør at man kan integrere alle de uavhengige meningene til én mening.

Surowiecki identifiserer også faktorer som dramatisk reduserer den kollektive intelligensen til langt under intelligensen til enkeltindividene:

1. **Homogenitet:** Dersom deltakerne er for like blir også resultatet dårligere.
2. **Sentralisering:** Dersom sentrale beslutningstakere forhindrer meningsmangfoldet til deltakerne å integrere seg, er resultatet en kraftig reduksjon i kollektiv intelligens.
3. **Ugjennomsiktighet:** Maksimal intelligens oppnås dersom all informasjon er tilgjengelig for alle. På tilsvarende vis fører ugjennomsiktighet til lav kollektiv intelligens.
4. **Konformitet:** Dersom alle bare nikker med hodene og etterligner hverandre, reduserer man den kollektive intelligensen radikalt.
5. **Emosjonalitet:** Dersom et tema er veldig følelseladd, vil følelsene blokkere for individuell, så vel som kollektiv intelligens.

