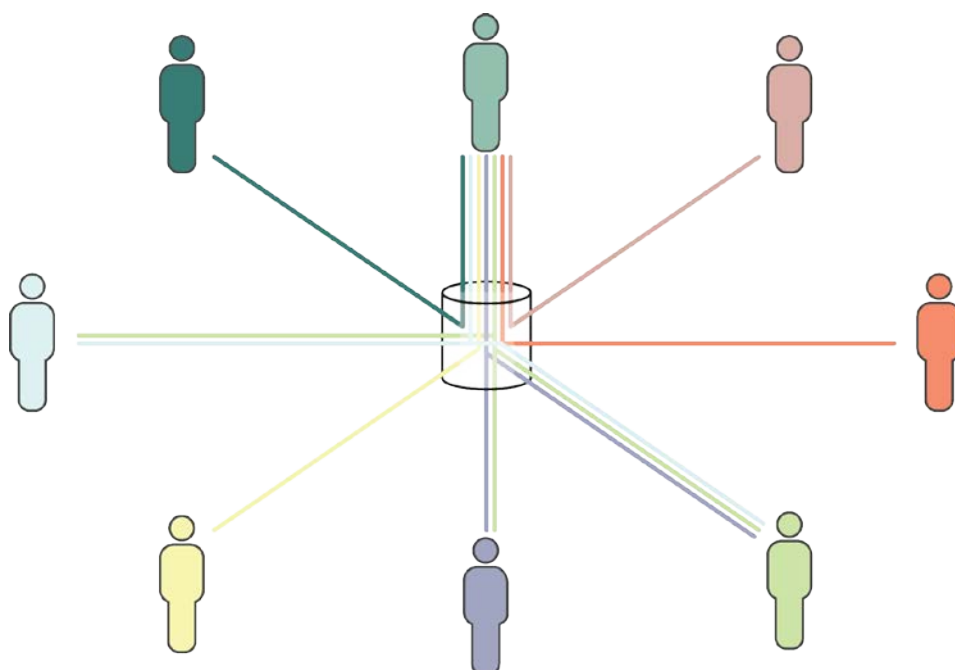


# RAPPORT

## Bedre udbytte af BIM ved design af HVAC-systemer

*Udvikling af databaseorienteret værktøj til optimering af kommunikation, strukturering af designrammer og hurtigere resultatgenerering med udgangspunkt i bygherres reelle behov.*



*S072521 Mads Holten Rasmussen*

*S072530 René Bukholt*

*Specialeafhandling, Maj 2013*



# Bedre udbytte af BIM ved design af HVAC-systemer

## Forfattere:

s072521 Mads Holten Rasmussen  
s072530 René Bukholt

## Vejledere:

Jørn Toftum Lektor BYG • DTU  
Jan Karlshøj Sektionsleder, Lektor BYG • DTU

## Tak til:

Michael Blom Søefeldt	Afdelingsleder, IKT	Alectia
Thomas Fænø Mondrup	Ph.d.-studerende	BYG • DTU
Marianne Thorbøll	Arkitekt og projektleder	Bygningsstyrelsen
Morten Strandgaard	Sales Director	CAD-Q
Søren Spile	Projektchef	Cuneco
Sakari Lehtinen	Ejer og medstifter	Datacubist
Asger Bendtsen	Civilingeniør, HVAC Industri afd.	Moe & Brødsgaard
Lars L. Rasmussen	Civilingeniør, HVAC Industri afd.	Moe & Brødsgaard
Morten Andersson	Udviklingschef	Moe & Brødsgaard
Simon Steinbo	Afdelingsleder, HVAC afd.	Moe & Brødsgaard
Jesper T. Henningsen	CAD-chef	Moe & Brødsgaard
Camilla Dyring	Civilingeniør, Design & Tender afd.	MT Højgaard
Lars Johansson	BIM koordinator	nne pharmaplan
Rune Andersen	Civilingeniør, BuildingSMART afd.	Niras
Niels Tredal	Civilingeniør, Sundhed & Pharma	Rambøll
Asbjørn Levring	Konsulent	Teknologisk Institut

---

Aflleveret: 12.05.2013

Kommentarer: Denne rapport er udfærdiget som en del af kravene til at opnå titlen Civilingeniør i Bygningsdesign (MSc in Architectural Engineering) ved Danmarks Tekniske Universitet.

Rapporten repræsenterer 35 ECTS point for hver af forfatterne.

# ABSTRACT

---

The present report states an approach on how to optimize the HVAC-engineers workflow through a strategy focusing on a holistic BIM-orientated workflow.

Through an industry survey, where BIM- and HVAC-people from five of the largest engineering companies in Denmark were interviewed, it was experienced that the main part of the challenges, which are met in the transition to BIM, relate to communication problems. Based on this an overall infrastructure was developed concretised by a database solution with the purpose of contributing to a better organized communication. The tool was developed as a web interface with two approaches. One in which the building owner can define building requirements, and the other in which the HVAC-engineer can produce solutions based on the requirements.

By utilizing the developed product on a case handed out by Alectia, it was possible to establish a workflow and visualise the benefits. The product enabled prompt steady-state calculations on roomtypes defined by the building owner, giving an overview of internal heat gains and ventilation requirements. By mapping the owner's project requirements with current norms and regulations it was furthermore possible to set up an automatically produced zone template for thermal simulations in IDA ICE. Thus simulation models of the complete building could be established based on an IFC-model. By storing the results in the same database as the owner's project requirements the framework for validating the results was created. After making the validations it was possible to synchronise the results to Revit, from where the further development of the systems could take place.

It is believed that the developed approach would be beneficial for the HVAC-engineer as well as the building owner. By extending the tool so it also covers other parts of the building project team, the foundation of how to optimise communication within the whole project team is provided. The product was developed based on the holistic context it is thought to operate in, which is why a future development can be accomplished using the same principles as used for the HVAC-engineer.

# RESUMÉ

---

I nærværende rapport fremlægges en tilgang til, hvordan HVAC-ingeniørens arbejde kan optimeres ved at benytte en strategi, som fokuserer på en holistisk indgangsvinkel til et BIM-orienteret workflow.

Gennem en brancheundersøgelse, hvor BIM- og HVAC-folk fra fem store ingeniørvirksomheder blev interviewet, blev det synliggjort, at en stor del af de udfordringer, der opleves i omstillingen til BIM, relaterer sig til problemer med kommunikationen. Der blev med udgangspunkt i denne problemstilling skabt en infrastruktur omkring et databaseorienteret værktøj, som skulle bidrage til en mere struktureret kommunikation. Værktøjet blev udviklet som et webinterface med to indgangsvinkler. På den ene side definerer bygherre krav til projektet, og på den anden side har HVAC-ingeniøren redskaber til at udarbejde løsninger på baggrund af de definerede krav.

Ved at benytte det udviklede værktøj var det muligt, med udgangspunkt i et konkret projekt udleveret af Alectia, at gennemføre et samlet arbejdsforløb, hvor fordelene i den udviklede tilgang blev synliggjort.

Værktøjet muliggjorde hurtige overslagsberegninger på rumtyper defineret af bygherre, således at interne varmebelastninger og ventilationsbehov kunne bestemmes. Ved at mappe bygherrekrav med gældende normer var det endvidere muligt at opstille en struktur for automatisk generering af zonetemplates for det termiske simuleringsprogram IDA ICE. Dermed kunne en simuleringsmodel af den komplette bygning opstilles med udgangspunkt i en IFC-geometrimodel. Ved at lagre resultaterne i samme database som bygherrekravene, blev der skabt rammer for validering af simuleringsresultaterne. Efter valideringen kunne resultaterne synkroniseres til Revit, hvorfra den videre projektering af systemerne kunne finde sted.

Den udarbejdede tilgang menes at kunne skabe værdi for såvel HVAC-ingeniøren som bygherre. Ved at udvikle værktøjet, til også at omfatte de øvrige rådgivere, sættes rammerne for hvordan kommunikationen i et byggeprojekt, som helhed, kan optimeres. Med henblik på den kontekst produktet skal fungere i, blev der arbejdet ud fra en helhedsorienteret tilgang, hvorfor den videre udvikling kan ske ud fra samme principper, som blev benyttet for HVAC-ingeniøren.

# INDHOLDSFORTEGNELSE

---

1	INTRODUKTION	11
1.1	Problemfelt og problemformulering	11
1.2	Metode og afgrænsning	12
2	BRANCHEUNDERSØGELSE	15
2.1	Interviews med ingeniørvirksomheder	15
2.2	Interview med statslig bygherre	19
2.3	Eksisterende programmer	20
3	LITTERATURSTUDIE	23
3.1	Koordinering af informationsflow	23
3.2	Strukturering af bygherrekrav og designrammer	27
3.3	Entydig kommunikation	31
4	EN NY STRATEGI	35
4.1	Koordinering af informationsflow	37
4.2	Definering af designrammer	42
4.3	Systemdesign på baggrund af designrammer	48
4.4	Strategi for Synkronisering	53
5	PRODUKTET	59
5.1	Adgangshåndtering	59
5.2	Registrering af bygherrekrav	61
5.3	HVAC-løsninger på informationsniveau 2	66
5.4	HVAC-løsninger på informationsniveau 3	70

---

6	PRAKTISK ANVENDELSE	79
6.1	Definering af byggherrekraV	81
6.2	Forarbejde	83
6.3	HVAC	88
6.4	Termisk simulering	90
6.5	Kommunikation af resultater	95
6.6	Videre brug af resultater	100
7	DISKUSSION	103
8	KONKLUSION	107
9	BIBLIOGRAFI	110
A	INTERVIEWGUIDE	113
B	BRANCHEUNDERSØGELSE	115
C	ARTIKEL - HVAC MAGASINET 2. UDG 2013	125
D	HVACIE	129
E	IFC EGENSKABSDATA	133
F	UDVEKSLINGSKAV	137
G	IDA ICE TEMPLATE GENERERING	145
H	IDA ICE OBSERVATIONER	159
I	ETABLERING AF FORBINDELSE MELLEM REVIT OG MYSQL	163

## FORKORTELSER

---

AJAX	Asynchronous JavaScript and XML
API	Application Programming Interface
BIM	Byggeinformationsmodel / Byggeinformationsmodellering
BIPS	Byggeri – Informationsteknologi – Produktivitet – Samarbejde
BR	Bygningsreglementet
BRE	Building Research Establishment
BREEAM	BRE Environmental Assessment Method
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
CAV	Constant Air Volume
CCS	Cuneco Classification System
CDB	Concept Design BIM
COBie	Construction Operations Building Information Exchange
COBIM	Common BIM Requirements
CSS	Cascading Style Sheets
CTS	Central Tilstandskontrol og -Styring
DBK	Dansk Bygge Klassifikation
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DRY	Design Reference Year
EN	European Norm
ERDC-CERL	US Army Engineer Research and Development Center, Construction Engineering Research Laboratory
HTML	Hypertext Markup Language
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
HVACie	HVAC information exchange
ICE	Indoor Climate and Energy
ICIEE	International Centre for Indoor Environment and Energy
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes



---

ISO	International Organisation for Standardisation
IKT	Informations- og Kommunikationsteknologi
IPD	Integrated Project Delivery
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing
MVD	Model View Definition
ODBC	Open Database Connectivity
P / PI	Proportional / Proportional-Integral
PHP	Hypertext Preprocessor
PMV	Predicted Mean Vote
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied
SQL	Structured Query Language
TABS	Thermally Active Building Structure
VAV	Variable Air Volume
VVS	Varme, ventilation og sanitetsteknik
XML	Extensible Markup Language



# 1 INTRODUKTION

---

## 1.1 Problemfelt og problemformulering

Kompleksiteten i nye byggerier stiger. Udbudsmaterialet skal være mere gennemarbejdet, byggeriet skal gøres billigere og hurtigere og samtidig skærpes kravene til dokumentation af eksempelvis energiforbrug og indeklimaforhold (Marfelt, 2012). Nye teknologier har gjort det muligt at projektere og udføre løsninger, som ikke tidligere har været mulige, men med den øgede kompleksitet følger et øget behov for koordinering og kommunikation.

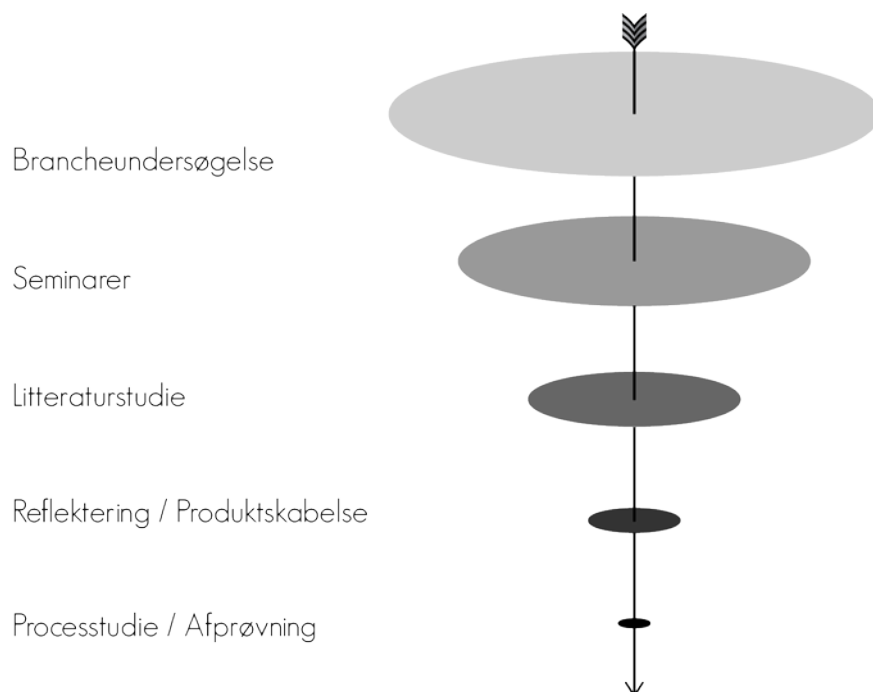
I arbejdet med at udvikle HVAC-strategier kræves især en tæt dialog med arkitekten, idet flere arkitektoniske parametre har direkte indflydelse på de nødvendige løsninger. For at alt kan gå op i en højere enhed, er det nødvendigt med et tæt samarbejde imellem arkitekt og HVAC-ingeniør i de indledende faser, hvor hurtige og præcise svar kræves i en integreret designproces.

Skal et tæt samarbejde fungere optimalt, er der behov for en gnidningsfri kommunikation imellem de involverede parter, sådan at misforståelser ikke forekommer. Et øgede fokus på potentialet i BIM er kommet for at blanded andet at styrke denne kommunikation. BIM handler om at knytte informationer til geometriske modeller, men branchen erkender, at det sjældent sker. Skyldes dette, at branchen er for træg til at adoptere de nye metoder, eller er det værktøjerne, der ikke udfylder branchens behov?

Nærværende rapport søger at identificere og løse konkrete problemstillinger i HVAC branchen, og præsenterer samtidig et forslag til en tilgang, som udnytter potentialet i BIM. Dette har udmundet i nedenstående problemformulering:

Hvordan kan arbejdsgangen for HVAC-ingeniøren optimeres med udgangspunkt i de designrammer, der skal tages afsæt i, og kan der opstilles en overordnet BIM-strategi, som andre parter, fra bygherre til rådgivere, også kan drage nytte af?

## 1.2 Metode og afgrænsning



Figur 1-1: Illustration af arbejdsproces

Indledningsvist blev der foretaget en brancheundersøgelse, hvor nøglepersoner fra 5 ingeniørvirksomheder blev adspurgt omkring deres erfaringer med anvendelse af BIM inden for HVAC. De gennemførte interviews tog alle afsæt i en på forhånd defineret interviewguide [Bilag A], som forinden interviewene blev fremsendt til de involverede personer. Interviewene blev udført som semistrukturerede kvalitative interviews, afvigelser fra interviewguiden var tilladt, således at samtalen kunne udvikle sig i en given retning.

Blandt de adspurgte personer var der en generel enighed om, at de problemer, der opleves, bunder i mis-kommunikation imellem de involverede parter og en manglende forståelse for, hvor i processen en given opgave udføres. Det stod derfor hurtigt klart, at en grundlæggende optimering af HVAC-ingeniørens arbejde ikke kunne etableres uden, at de parter, som leverer informationer, materiale og krav også blev taget i betragtning.

Med baggrund i de identificerede problemstillinger, blev der søgt i litteraturen for at gennemgå state-of-the-art inden for området. En Ph.d. afhandling af finske Arto Kiviniemi under titlen "Requirements Management Interface to Building Product Models" viste sig at behandle mange af de fremlagte problemstillinger (Kiviniemi, 2005). Kiviniemi har gennem sin 24 årige karriere som arkitekt oplevet de udfordrin-

ger, der relaterer sig til miskommunikationen mellem de involverede aktører i et byggeprojekt, og i afhandlingen forsøger han at finde en løsning på dette problem.

Grundet hans baggrund som arkitekt, var det denne rolle der var fokus på, men der lægges i rapporten op til, at en lignende undersøgelse foretages for de øvrige fagdiscipliner. Med udgangspunkt i dele af meto-  
dikken blev der i dette projekt arbejdet med udviklingen af et redskab og en struktur til at sikre bedre kommunikation særligt mellem HVAC-ingeniøren, bygherre og arkitekten.

For at få en anden vinkel på problematikken blev der udført endnu et interview med en statslig bygherre, hvor nogle af tilgangene fra (Kiviniemi, 2005) blev fremlagt. Der var en genkendelighed af de problemstillinger, som også blev underbygget i den indledende brancheundersøgelse.

En artikel blev udarbejdet, som redegjorde for hovedobservationerne i brancheundersøgelsen, med referencer til mulige løsningsforslag. HVAC magasinet, trykte denne i 2. udgave af bladet for 2013. Artiklen kan læses på side 58-63 i bladet, eller i [Bilag C].

Det var oplagt at benytte et databasebaseret værktøj til at kortlægge bygherrekrav og designløsninger, men da der ikke umiddelbart var et værktøj, som opfyldte behovet på markedet, blev det besluttet at udvikle et nyt til formålet. Dette havde den fordel, at det ikke var værktøjet, men snarere evnen til at tænke kreativt, der satte begrænsningerne, og da udviklingen foregik sideløbende med behovsanalysen, kunne de to processer påvirke hinanden imod det endelige produkt.

Gennem en CASE, leveret af Alectia omhandlende Roskilde Tekniske Skole kunne produktet og strategierne afprøves.

### **Adgang til det udviklede værktøj**

Det udviklede værktøj kan tilgås fra hjemmesiden [www.bukholten.dk](http://www.bukholten.dk), ved at benytte nedenstående loginoplysninger. Det anbefales at værktøjet først undersøges under profilen *Bygherre*, og efterfølgende under profilen *HVAC-ingeniør*. Hermed kan det afprøves hvordan et rum oprettet af bygherre kan bruges som beregningsgrundlag i HVAC-interfacet.

#### **Bygherre**

Initialer: BH  
Kode: test

#### **HVAC-ingeniør**

Initialer: ING  
Kode: test



[www.bukholten.dk/KDB/](http://www.bukholten.dk/KDB/)



# 2

## BRANCHEUNDERSØGELSE

---

### 2.1 Interviews med ingeniørvirksomheder

For at målrette studiet mod den danske byggebranches behov blev der indledningsvist udført en brancheundersøgelse, som bestod af interviews med de personer og virksomheder, som fremgår af Tabel 2-1.

Tabel 2-1: Mødedeltagere ved virksomhedsinterviews

Virksomhed	Til stede	Stilling
nne pharmaplan	Lars Johansson	BIM koordinator
Niras	Rune Andersen	BIM koordinator (installationer)
Moe & Brødsgaard	Morten Andersson Simon Steinbo Jesper Henningsen Asger Bendtsen Lars Rasmussen	Udviklingschef Afdelingsleder, HVAC CAD-chef HVAC-ingeniør HVAC-ingeniør
Rambøll	Niels Tredal	Faglig leder, 3D HVAC-design, Cuneco
MT Højgaard	Camilla Dyring	VVS-ingeniør, Design & tender (Bæredygtighed)

I det følgende afsnit redegøres overordnet for de af hovedemnerne i de gennemførte interviews, som blev fundet relevante for det videre arbejde imod en løsning på de problemer, som blev oplyst i problemfeltet. De øvrige emner er beskrevet i et mere dybdegående notat, som blev udarbejdet kort tid efter undersøgelsens afslutning. Dette notat findes under bilag B.

De udvalgte hovedemner omhandlede primært de kommunikative udfordringer, der blev mødt i branchen generelt og i relation til arbejdet med digitale bygningsmodeller. Emnerne kan i hovedtræk inddeles i følgende kategorier:

- Koordinering og informationsudveksling mellem arkitekt og ingeniører
- Detaljeringsniveau af 3D installationsmodeller
- 'Sunde' 3D modeller
- Klassificering og standardisering

Samtlige af de adspurgte virksomheder arbejdede i et vist omfang i 3D inden for installationsområdet, og havde gjort det i nogle år. Det blev dog erfaret, at virksomhederne oplevede problemer forbundet med at arbejde i 3D, som primært relaterede sig til koordinering og ansvarsfordeling og generelle modeltekniske udfordringer.

Indtrykket var overordnet, at 3D-modelleringen blev brugt som et redskab til at vurdere pladsforhold, til at identificere kollisioner mellem rørføringer og konstruktioner og til at udføre mængdeudtræk. En af interviewdeltagerne satte dog selv spørgsmålstegn ved, i hvor høj grad dette kunne kaldes for BIM. Som udgangspunkt var der ikke nogen virksomheder, der havde et fuldt etableret BIM workflow i følge ham.

Et overordnet emne, som blev drøftet, var koordinering og informationsudveksling mellem de forskellige parter. I takt med at virksomhederne begyndte at modellere i 3D, blev det erfaret, at der opstod et behov for en mere struktureret plan for arbejdsgangen på projekterne. Der blev brugt mange ressourcer på tilretning i forhold til arkitektens revisioner, og det mentes i høj grad at skyldes, at der på et for tidligt tidspunkt i processen blev detaljeret på unødigt højt plan. Der var dog endnu ikke nogen af virksomhederne, som havde haft held med at udvikle en fuldt implementeret arbejdsstrategi, der effektivt kunne reducere det tidskrævende revisionsarbejde.

Det kunne udledes af interviewene, at der opleves en manglende gensidig forståelse af, hvad der kan forventes af de forskellige aktører, når et projekt er på et givent niveau. Det fremstod som om, at der var en tendens til, at arkitekten ikke havde et overblik over netop hvilke oplysninger, der var relevante for ingeniøren, og det samme gjorde sig gældende den anden vej rundt. Problemstillingen med overdetaljering på et for tidligt tidspunkt antyder, at ingeniøren ikke er ordentligt afklaret med, at arkitektens arbejdsgang løbende afføder revisioner. Det blev i henhold til denne problemstilling fra én af virksomhederne foreslået, hvordan et informationsflow overordnet set kunne foregå fra en HVAC-ingeniørens perspektiv.

For overslagsdimensionering af ventilationsbehov blev det foreslået, at arkitekten leverer en simpel foreløbig 3D model indeholdende de overordnede funktionsinddelinger i bygningen. Med modellen som grundlag for termiske simuleringer kan et overblik over varme- og kølebehov forskellige steder i bygningen skabes, og pladsbehovet til de overordnede føringsveje kan estimeres. Hvis arkitekten på dette stadie endnu ikke har taget stilling til antal, størrelser og placeringer af vinduer, er det ud fra simuleringerne



muligt at give nogle retningslinjer for hensigtsmæssige glasandele, og dermed er der et grundlag for den videre kommunikation.

Fra konstruktionsingeniøren må det forventes, at bygningens overordnede statiske system er vurderet, hvorfor vægge, som ikke kan gennembrydes, er udpeget.

Med ovenstående på plads er det muligt at tage stilling til følgende:

Placering af teknikrum

Pladsbehov i teknikrum

Udlægning af hovedføringsveje

Udlægning af skakte

Med rammerne på plads kan der tegnes en simpel 3D-geometri, som overordnet kommunikerer pladsbehovene videre til de øvrige aktører. Detaljeringen af denne 3D-geometri skal tilsvare niveauet af den information, der lå til grund for beregningerne.

Efterhånden som mere viden om bygningen bliver tilgængelig, bliver geometrien yderligere detaljeret. På et tidspunkt er detaljeringen sådan, at det tager tid at udføre ændringer, når arkitektmodellen ændres, og detaljering til dette stadie bør derfor ikke ske for tidligt.

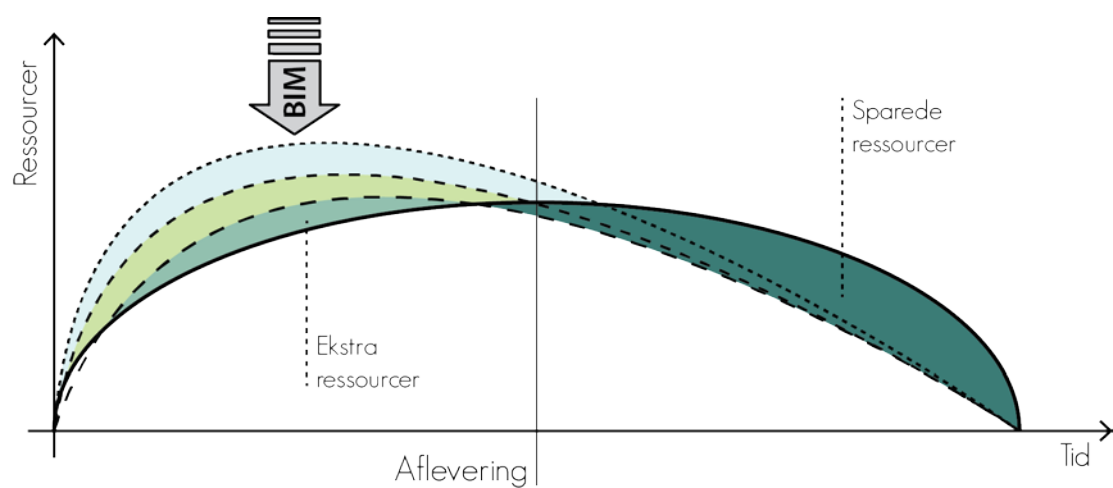
Den foreslåede tilgang gør i høj grad brug af digitale værktøjer, men det blev i undersøgelsen påpeget, at mange HVAC-ingeniører slet ikke behersker disse værktøjer, og i denne forbindelse er der nogle udfordringer. Generelt blev systemdimensionering udført på baggrund af steady-state beregninger i Excel-ark, og termiske simuleringer var typisk kun noget, der blev udført på enkelte rum.

### **Suboptimeringer frem for superoptimeringer.**

Det var begrænset, hvad der var af bud på, hvordan en overordnet BIM strategi kunne se ud. Den generelle holdning var, at der stadig er et stykke vej til, der kan arbejdes i én stor forkromet BIM model, som sikrer optimal udveksling af informationer. Det lå til en vis grad implicit i holdningen, at det er i softwareproducenternes hænder at lave værktøjer, der sikrer et optimalt workflow, og at det er Revit-modellen, der bliver omdrejningspunktet for den store forkromede BIM model.

### **Virksomhedernes visioner**

I de adspurgte virksomheder var der bred enighed om, at projektering i digitale informationsbaserede modeller vil komme til at vinde udbredelse i fremtiden, fordi kvaliteten af det afleverede materiale er højere. Det betyder at projekter fremstår klarere og mere bygbare, og dermed er behovet for opfølgninger fra ingeniørens side i udførelsesfasen reduceret. Problemet var, at der ofte blev brugt uforholdsmæssigt meget tid på at generere materialet i forhold til udbyttet. Derfor efterspurgtes der svar på, hvordan der arbejdes med værktøjerne for at opnå en effektivitetsforøgelse. Ressourcepuklen tidligt i projektforløbet skal altså ned.



Figur 2-1: Skitseret diagram, der viser ressourceforbruget over tid. Den sorte streg indikerer en 2D arbejdsproces. De stiplede streger viser en 3D arbejdsproces med kollisionskontrol.

## 2.2 Interview med statslig bygherre

For at kunne redegøre for et informationsflow imellem de involverede parter i en byggesag, var det relevant også at undersøge, hvordan processen opleves fra den anden side af bordet. I dette tilfælde var interviewdeltageren fra bygningsstyrelsen og dermed en offentlig bygherre, der kunne beskrive den typiske procedure, og hvilke forbedringer, der eventuelt kunne efterspørges. Da der var tale om en statslig bygherre, skal der tages det forbehold, at denne er med til at sætte krav til de konkurrencebydende, som en privat bygherre ikke nødvendigvis ville gøre, da det kunne fordyre projektet. Fra statens side stilles der øgede krav til det digitale niveau, som det udbudte materiale skal leveres på. Dette skyldes, at der herigennem er mulighed for at påvirke branchen hen mod en mere effektiv, BIM-orienteret, byggeproces. Der skal typisk være en klar økonomisk gevinst for at motivere en privat bygherre, og derfor er der ikke nødvendigvis den samme tilgang herfra. Et interview med en privat bygherre ville derfor have været af en anden karakter. I modsætning til de 5 interviews med ingeniørvirksomheder, blev dette foretaget noget tid inde i projektforløbet, hvor interviewet tog sit afsæt i de foreløbige metoder, der var blevet gransket.

Tabel 2-2: Mødedeltager ved bygherreinterview.

Virksomhed	Til stede	Stilling
Bygningsstyrelsen	Marianne Thorbøll	Arkitekt og BIM-ekspert

Hovedkonklusioner:

Kommunikationen kan ofte skride

Bygherre efterspørger større indblik for at undgå overraskelser

Bygherre præciserer krav for at modtage mere målrettede løsninger fra rådgiverne

Rådgivere er generelt positive over for mere specifikke krav

Der er ingen tradition for at effektivisere bygherrekrav og kommunikation

Der stilles krav om aflevering af IFC-modeller

BIM anvendes som et redskab til bedre at kunne evaluere konkurrenceforslag

Bygningsstyrelsen var på tidspunktet for interviewet i gang med en udvikling, hvor målet var bedre at kunne tjekke rådgivernes designforslag op imod de stillede krav. Det blev beskrevet hvordan hovedvægten af afleveringen til et konkurrencetilbud typisk består af plancher, som i højere grad spiller på følelser end fakta. Ved siden af plancherne blev rumprogrammet typisk dokumenteret i et Excel-ark, men denne form for dokumentation blev oplevet uoverskuelig, og derfor skulle der ofte bruges tid på at tilpasse projektet efter konkurrencen, når arealerne ikke var korrekte. For at imødegå dette problem besluttede bygningsstyrelsen at indgå et samarbejde med Dalux om at bruge deres udviklede BIM checker til at tjekke konkurrenceforslagene. I henhold til IKT-bekendtgørelse nr. 1365, som trådte i kraft i 2007, skulle offentlige bygherrer allerede dengang kræve en objektbaseret bygningsmodel afleveret i IFC-format ved større

projekter, men før BIM checkeren havde bygherre ikke et effektivt værktøj til at validere denne model. Værktøjet var et skridt hen mod at undgå pludselige overraskelser i projektforslaget. For rådgiverne medførte det en større arbejdsbyrde i udarbejdelsen af konkurrenceforslag, men på den anden side medførte det mindre revisionsarbejde når konkurrencen var vundet. Der var dog stadig plads til optimering og strukturering af krav.

Tilgangen i (Kiviniemi, 2005) blev fremlagt for Marianne Thorbøll for at danne et udgangspunkt for diskussionen omkring hvad det skyldes, når et projekt skrider fra bygherres ønske. Dette gav anledning til en snak om, at der efterspørges et bedre indblik i et projekts aktuelle status. Marianne påpegede, at når der arbejdes med BIM-orienterede værktøjer fra arkitektens side, burde modellerne også i højere grad kunne tilgås af andre. Grunden til at det ikke var tilfældet mentes at skyldes en faglig stolthed og ejerskabsfor-nemmelse, som blev beskrevet som hæmmende for at evaluere status på projektet.

Til interviewet blev dette projekts tilgang til en bedre kommunikation for begrænsning af pludselige over-raskelser præsenteret. Tilgangen bestod på dette tidspunkt i et skematisk forslag til lagring af krav i én database og løsninger i en anden, for derved at muliggøre validering imellem de to. Dette blev positivt modtaget og blev umiddelbart set som et stærkt redskab, der kunne indgå i den statslige bygherres konkurrenceudbud. I den forbindelse blev det også pointeret at der arbejdedes med at være skarper på at definere krav til rådgiverne.

Interviewet bekræftede idéen om den databasebaserede løsning som et brugbart redskab og underbyggede hypotesen om, at det kan være svært at overskue projektets status samt at sikre den rette kurs.

## 2.3 Eksisterende programmer

Formålet med rapporten var at skabe et workflow med en fornuftig infrastruktur imellem BIM-værktøjer. Indledningsvist blev der fokuseret på at definere arbejdsgange, ud fra disse kunne der opstilles krav til de nødvendige informationsudvekslinger med byggeriets øvrige aktører. Med klare rammer for den ønskede arbejdsgang, blev det undersøgt hvilke værktøjer, der understøttede behovet. Det lykkedes ikke at finde en løsning, der kunne skabe det bånd mellem bygherre, HVAC-ingeniør og de øvrige rådgivere, som var ønsket. Ved undersøgelsen, blev følgende kandidater overvejet:

### RoomEX

Programmet er udviklet af finske Granlund, som er en rådgivende ingeniørvirksomhed med speciale inden for installationsdesign. Med fokus på HVAC-design giver programmet mulighed for at definere krav til rum, og derfor virkede det ideelt til formålet. Det lykkedes dog aldrig at få adgang til det, hvilket primært skyldes at udviklingen er foregået i forbindelse med EU projektet HESMOS, hvoraf der fulgte nogle rettighedsproblemer.

#### dRofus

Norske dRofus er ligeledes et program, som giver mulighed for at definere krav på rumniveau. dRofus er hovedsageligt rettet mod hospitalsbyggerierne, og fokus er primært på specifikation af nødvendigt udstyr. På indeklimasiden blev mulighederne fundet for begrænsede til at kunne understøtte den ønskede arbejdsgang.

#### Dalux BIM Checker

Bygningsstyrelsen havde gode erfaringer med at evaluere indleveret materiale med dette program, men da dette studies fokus var på informationstilgængelighed snarere end validering, var dette værktøj ikke løsningen.

#### Byggeweb

I Byggeweb kan relevant, materiale uploades og struktureres. Der gives mulighed for at underrette samarbejdspartnere, når der sker en ændring. Tilgangen minder om den, som ses i Dropbox, hvor hele dokumenter gøres tilgængelige i 'skyen'. Det er et betydeligt fremskridt i forhold til at have dokumenterne på en lokal server, men i den ønskede tilgang var tanken at udveksle klart definerede informationer snarere end hele dokumenter.



# 3

## LITTERATURSTUDIE

---

I det følgende afsnit, fokuseres der på at indsamle konkret viden fra litteraturen, som underbygger de problemstillinger brancheundersøgelsen rejste. Det hovedemne, der blev arbejdet med, var de kommunikationsproblemer, som opleves.

I litteraturstudiet blev der søgt efter metoder, som kunne bidrage til at spare tid og dermed omkostninger. For at give rum for visionære forslag blev der ikke fokuseret på benyttelse af reelle redskaber i form af IT-værktøjer, der var tilgængelige på undersøgelsestidspunktet. Fokus var i stedet på at finde værktøjer i form af tilgange til en løsning af problemstillingen.

### 3.1 Koordinering af informationsflow

Tanken bag BIM er, at informationer knyttes til den modellerede geometri, hvorved de gøres tilgængelige ét centralt sted. Muligheden for at kunne berige en geometri med informationer giver rammer for et potentielt stærkt kommunikationsredskab, men for at opnå optimalt udbytte af dette redskab er det vigtigt, at der opstilles klare retningslinjer for, hvordan det anvendes.

Nogle informationer i en model kan betragtes som direkte nødvendige, imens andre i princippet er overflødige for hovedparten af faggrupper. For at forstå netop hvilke informationer der er nødvendige for en given part på et givent tidspunkt, er det nødvendigt, at der skabes en forståelse for hele processen.

Det er ikke blot nødvendigt at få klarlagt hvilke informationer, der skal leveres hvornår, men også hvem informationerne skal leveres af. De udfordringer der relaterer sig til den problemstilling har Cuneco, som er en del af bips, udviklet et løsningsforslag til. I Informationsniveaumetoden, som blev sendt til høring i November 2012 (Pedersen, Nybo, Jespersen, Madsen, & Zimmermann, 2012), blev der arbejdet med et koncept, som søger at opstille et struktureret aftalegrundlag for informationsudveksling. I BuildingSMART, som er et internationalt samarbejde om udvikling og anvendelse af åbne standarder for BIM, arbejdes der med begreberne Information Delivery Manual (IDM) og Model View Definition (MVD), som ligeledes har til formål at skabe en systematiseret struktur for dataoverleveringer.

Med udgangspunkt i den foreløbige model præsenteret af Cuneco, samt begreberne fra BuildingSMART, blev det forsøgt at give kvalificerede svar på følgende spørgsmål:

Hvilke informationer er gode at have, og hvilke er nødvendige?

Hvem har ansvar for hvilke beslutninger?

Hvilke informationer er valide?

Hvem skal bruge informationer fra mig, og hvornår?

Hvem skal jeg levere informationer til, og hvornår?

De to hovedroller i et byggeprojekt kan opdeles i en bygherredel og en rådgiverdel. Da rådgivningsopgaverne oftest er spredt over flere virksomheder, er kortlægningen af det overordnede informationsflow en kompliceret opgave, med mange selvstændige aktører. Det blev i brancheundersøgelsen gjort klart, at der erfaringsmæssigt kan opstå problemer i den overordnede kommunikation, og dette menes til dels at skyldes en manglende forståelse for samarbejdspartners arbejde.

### 3.1.1 Informationsudveksling

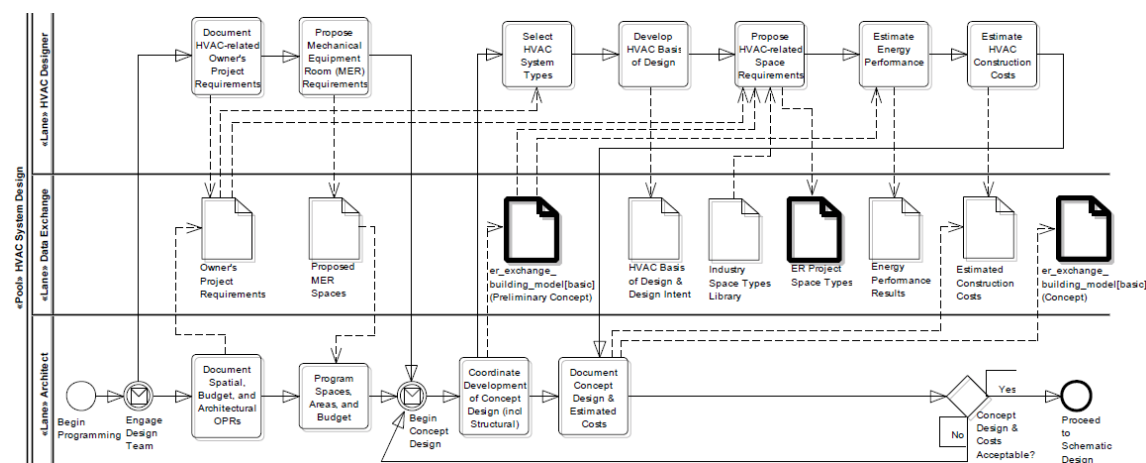
Informationsudveksling i et byggeprojekt er en udfordring, idet der indgår mange enkeltstående processer, som skal gå op i en højere enhed. Forskellige parter er ansvarlige for de enkelte processer, og de er ofte afhængige af resultater fra andre processer udført af andre parter, som ofte ikke er ansat i samme virksomhed.

For at strukturere informationsudvekslingen behandler BuildingSMART i deres specifikation, IDM, de generelle retningslinjer for en standardiseret informationsudveksling, som skal sikre en bedre digital kommunikation i byggebranchen (ISO 29481-1, 2010). Via "Exchange Requirements" (udvekslingskrav) specificeres det nøjagtigt, på en ikke teknisk måde, hvilke udvekslinger, der skal finde sted, før en given proces kan udføres, og desuden opstilles retningslinjerne for informationsudvekslingen. Dette kunne eksempelvis gælde, hvis der ønskes benyttet et særligt klassifikationssystem. Der stilles ikke særlige krav til at udvekslingen foregår digitalt, men ved digital udveksling lægges der op til, at IDM benyttes sammen med MVD.

Hvor IDM'en definerer samarbejdspartners forpligtelser i forhold til nødvendige udvekslinger samt indholdet af disse, behandler MVD'en implementeringen i softwaren. I en MVD kan det defineres, hvad der SKAL være indeholdt i en IFC-fil, hvad der MÅ være indeholdt, og hvad der IKKE MÅ være indeholdt. Dermed kan MVD'en dokumentere, at forpligtelserne i henhold til IDM'en er overholdt. MVD'en er teknisk specifik, og helt konkret kan rammerne for indholdet også defineres digitalt. Med formatet mvdXML er det muligt at specificere modelkravene, og for fremtiden forventes det, at dette format vinder udbredelse i softwaren.



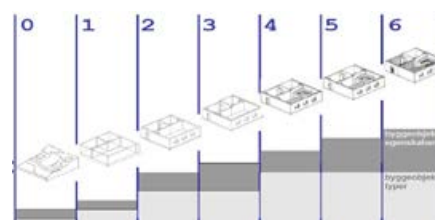
ERDC-CERL udgav som en del af COBie-projektet i marts 2012 en ontologi som, i overensstemmelse med procedurene i IDM og MVD, beskriver de nødvendige informationsudvekslinger for udførelse af livcyklusmodellering af HVAC-systemer (Hitchcock, et al., 2012). Gennem procesdiagrammer arbejdes der i rapporten med at skitsere de processer i et byggeprojekt, som har indflydelse på HVAC-ingeniørens systemdesign. I diagrammerne indgår arkitektens opgaver, samt de udvekslinger der foregår imellem de to parter. De samlede diagrammer, som skitserer et bud på et projektførløb fra forslagsfasen til bygnings opførelse, er vedlagt under bilag D.



Figur 3-1: Procesdiagram, der illustrerer de nødvendige informationsudvekslinger mellem arkitekt og HVAC-ingeniør i de indledende faser. Diagrammet er sammen med diagrammerne for de efterfølgende faser vedlagt under Bilag D (Hitchcock, et al., 2012).

### 3.1.2 Informationsniveauer

Informationsniveauer er ikke noget nyt begreb. I CAD-manualen fra 2008 arbejdede bips med syv niveauer, som definerer krav til indholdet i bygningsmodeller med byggeobjekter (Lundsgaard, et al., 2008). Informationsniveauerne blev som udgangspunkt defineret på bygningsniveau efter laveste fællesnævner; altså det byggeobjekt i modellen, som er på det laveste niveau. Formålet med informationsniveauerne er, at kunne angive til hvilket niveau modellen er kvalitetssikret. De 7 niveauer er oplistet herunder:



Figur 3-2: De 7 informationsniveauer indeholdt i det digitale byggeri (Lundsgaard, et al., 2008).

0. "Kravmodel" (Bygherrens program, div. krav og bindinger, terræn og byggegrund mv.)
1. Visualisering af løsningsforslag (volumen- og rummodeller)
2. Beslutningsmodel (funktionelle egenskaber og den bygningsfysiske løsning)
3. Myndighedsprojektet
4. Udbudsprojektet (grundlag for udbud, kalkulation og produktionsplanlægning)
5. Udførelsesprojektet (produktionsgrundlaget for de udførende)
6. "Som udført" model (as built dokumentation til driftsherren)

Cuneco præsenterede i slutningen af 2012 deres tilgang til informationsniveauer, og tanken er grundlæggende den samme som ovenstående (Pedersen, Nybo, Jespersen, Madsen, & Zimmermann, 2012). Den adskiller sig dog på det punkt, at et informationsniveau ikke tildeles på bygningsniveau, men kan tildeles på objektbasis (rum og bygningskomponenter) eller til at definere stadiet af en proces.

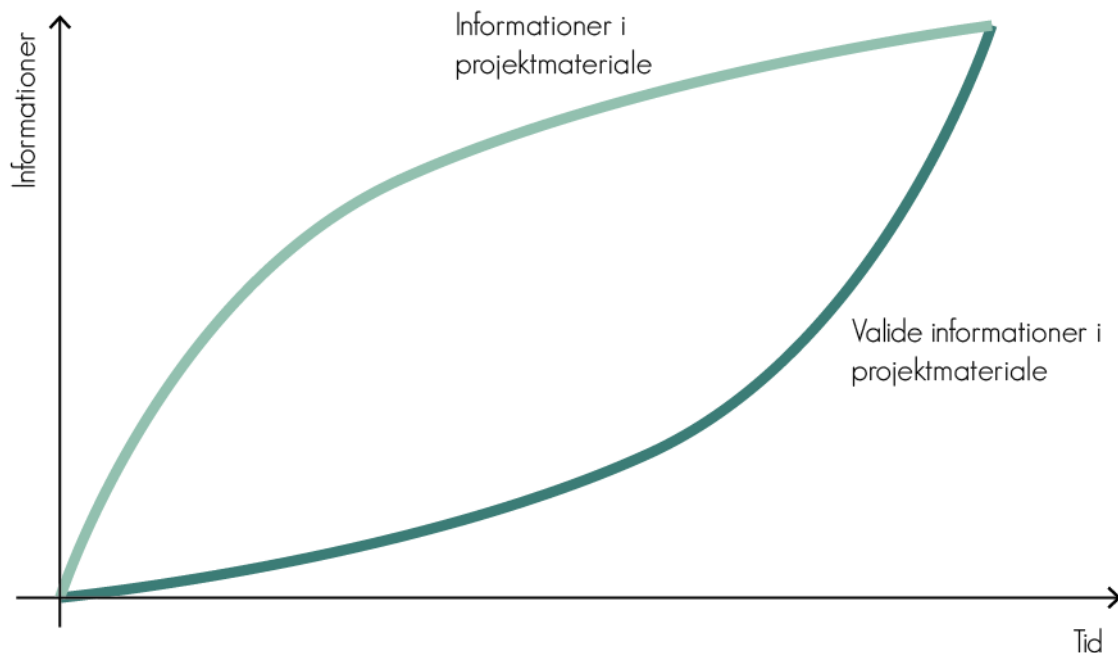
Tilgangen er, at der defineres "views", som beskriver hvilke informationer, der er nødvendige for hvert informationsniveau. Termen view benyttes også i MVD og i forbindelse med databaser og dækker over et selektivt syn på en mængde data.

Tilgangen med at definere et view, som omfatter de nødvendige informationer for at udføre en given proces på et givent niveau, muliggør en entydig kommunikation. Dels hvad angår kommunikation af behov til leverandører af informationer, og dels hvad angår forventningsafstemning ifht. de parter, som skal arbejde videre med resultatet. Tilgangen bygger på mange af de metodikker, der er indeholdt i IDM, og fordi den er integreret i den overordnede Cuneco-struktur med CCS klassifikationen som omdrejningspunktet, fremstår den som et lettere tilgængeligt praktisk orienteret værktøj.

### 3.1.3 Informationsvaliditet

Branchen oplever problemer med at overskue den stigende informationsmængde, der opstår i forbindelse med digitalisering. Der efterspørges en strategi for kommunikation af de nødvendige informationer til samarbejdspartnere, således at der skabes en utvetydig forståelse af hvilke data i modellen, der er valide, og hvilke der blot figurerer i modellen uden at være færdigbehandlede. Ved at udnytte muligheden for at definere et informationsniveau for objekterne i modellen, er Cunecos informationsniveaumetode et redskab til at afhjælpe dette problem.

Figur 3-3 illustrerer hvordan en stor mængde af de informationer, som er indeholdt i en BIM-model, ikke er valide i de tidlige faser. Som det fremgår af Cunecos erfaringer, opleves der på den ene side en vished om problemet i branchen, og på den anden side er der flere eksempler på, at en digital model kan skabe en illusion om, at modellen er valideret, uden det nødvendigvis er tilfældet. Denne problemstilling opstår blandt andet, når komponenter fra fabrikater hentes ind i en model på et tidligt stadie. Selvom der ikke er taget stilling til andet, end at der for eksempel skal være et vindue, indeholder vindueskomponenten fra producenten informationer omkring støjreduktion, brandklasse, termiske egenskaber osv. – parametre der ikke nødvendigvis er taget stilling til, og som derfor ikke er valide på det givne stadie.



Figur 3-3: Illustration af udviklingen af den totale mængde af informationer i projektmateriale for et byggeprojekt sammenholdt med mængden af valid information (Pedersen, Nybo, Jespersen, Madsen, & Zimmermann, 2012).

## 3.2 Strukturering af bygherrekrav og designrammer

I koordineringen af det overordnede informationsflow blev det indledningsvist belyst hvilke rammer, der ligger til grund for den løsning, byggeprojektet skal udmunde i. Når rammerne er fastlagt, kan en strategi, som er i tråd med det endelige mål, opstilles. En af udfordringerne på dette område er, at rammerne ikke er statiske, men udvikler sig med projektet.

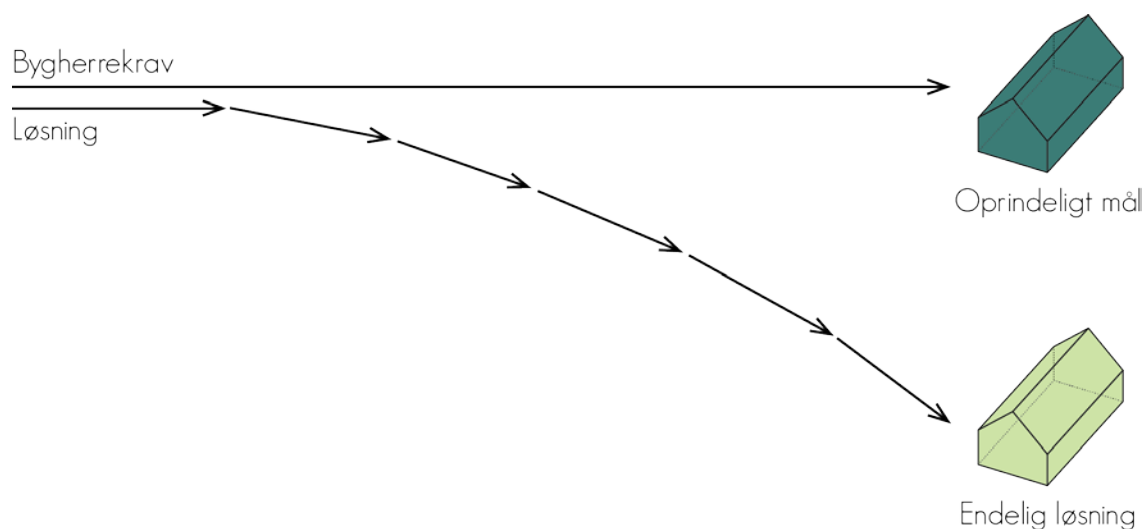
Ved et konkurrenceprojekt defineres indledningsvis faste rammer, som projekterne evalueres op imod. I den næste fase, hvor projekteringen af vinderprojektet påbegyndes, gennemgår projektet en stor udvikling, og i takt med at alle bliver klogere på indholdet, opstår der typisk et behov for at revidere de rammer, der indledningsvist blev defineret. Derfor ville det være hensigtsmæssigt, hvis rammerne defineres på en måde, som tillader, at de udvikler sig med projektet.

### 3.2.1 Bygherrekrav

Bygherrens krav til byggeriet bør være den vigtigste randbetingelse for designet af bygningens arkitektoniske udformning såvel som bygningens tekniske, funktionelle aspekter. For at designe et effektivt HVAC-system skal der være taget stilling til de forskellige rum, samt hvordan de forventes at blive brugt. Der er stor variation i, hvad der indledningsvist tages stilling til fra bygherres side. I nogle projekter stiller bygherre specifikke krav, og i andre har designerne friere rammer til selv at definere, hvilket behov de mener projektet bør opfylde. Hvis bygherre fra start opstiller stringente rammer, gives klarere spilleregler

for designteamet bestående af arkitekter og ingeniører. Dette vil på den ene side betyde, at der kan genereres designløsninger på kortere tid, og på den anden side har det den konsekvens, at den kreative frihed begrænses.

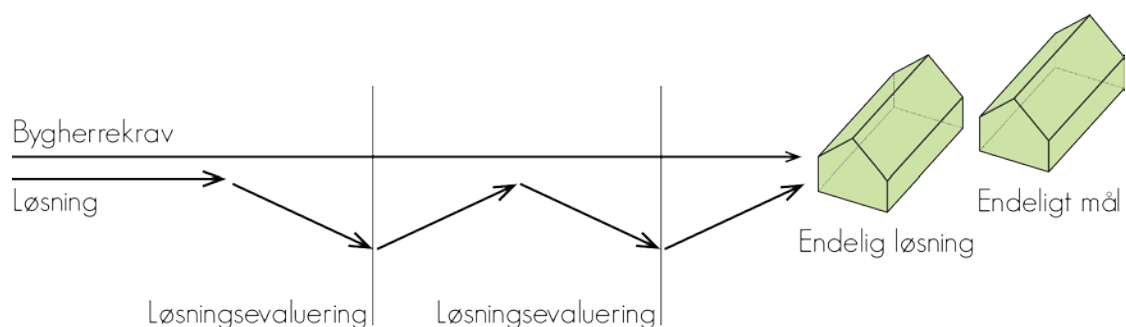
Bygherres ønsker og krav nedfældes traditionelt i et byggeprogram. Afhængig af projektets omfang specificerer bygherre, ofte i samråd med en bygherrerådgiver, krav til eksempelvis funktioner, arealer, brugsmønstre, energi, indeklima osv. I en Ph.d.-afhandling fra Stanford i 2005 blev det undersøgt, hvordan rådgiverne bruger de, af bygherren definerede, krav igennem et byggeprojekt (Kiviniemi, 2005). Det viste sig, at der er en tendens til en manglende krydstjekning, af hvordan projektet forholder sig til bygherrekraevne, når et projekt udvikler sig. Det betyder, at det færdige projekt risikerer at afvige markant fra bygherres egentlige behov. Dette er illustreret i Figur 3-4.



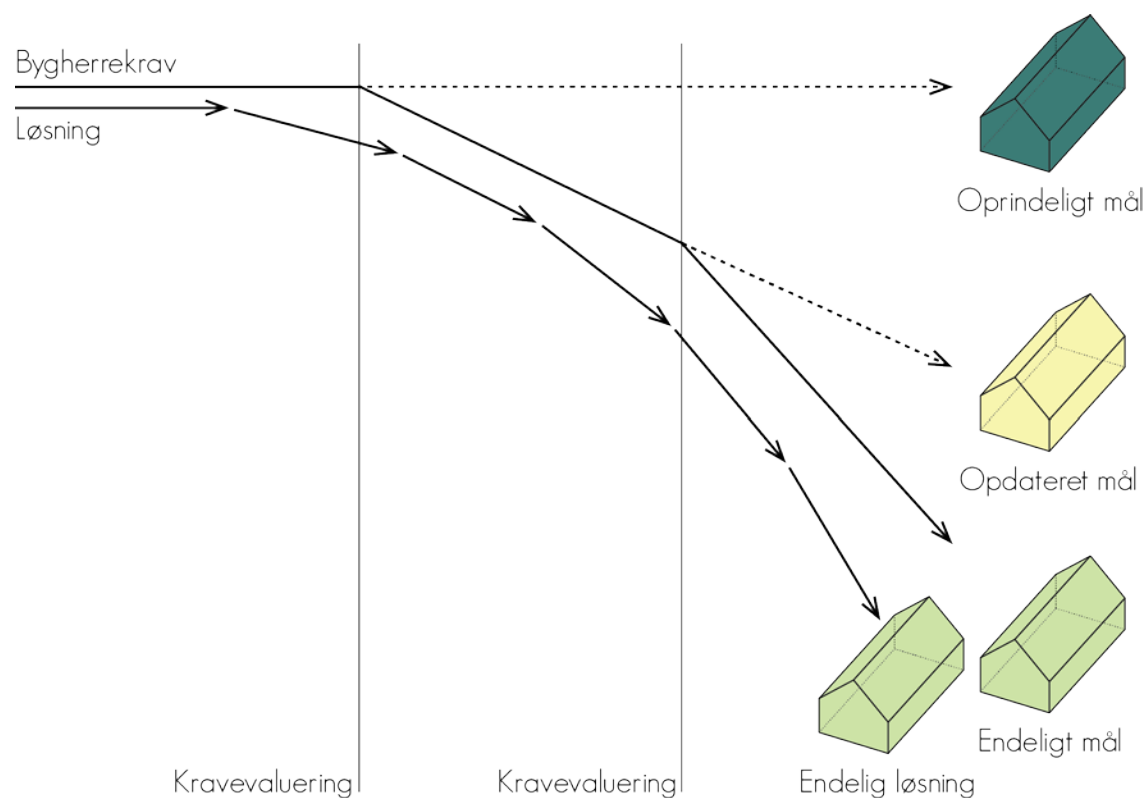
Figur 3-4: Eksempel hvor slutproduktet ikke stemmer overens med hvad der egentlig var tænkt pga. manglende kommunikation (Kiviniemi, 2005).

For at undgå at projektet afviger fra det ønskede mål, introduceres to metoder til at forene mål med slutresultat. Den ene metode bygger på at rådgiverne løbende justerer projektet på baggrund af designevalueringer i henhold til designrammerne, for derved at bringe projektet tilbage på rette spor. Denne metode er illustreret i Figur 3-5. Den anden metode går omvendt på, at forventningerne og bygherrekraevne løbende revideres og derved indordner sig projektet, som det er illustreret i Figur 3-6. I de fleste tilfælde anbefales det at bruge en kombination af de to metoder. Altså bør der sigtes imod en gensidig påvirkning imellem bygherre og rådgivere. Denne model faciliterer at den endelige løsning ikke nødvendigvis er statisk fra start til slut, og giver mulighed for, at bygherres krav ændrer sig, efterhånden som rådgiverne fremlægger reviderede løsningsforslag. Den medfører dog administrative udfordringer, idet det er svært at håndtere kommunikationen af ændringer i byggeprogrammet til de berørte parter. De erfaringsmæssige problemer der fremlægges, består i, at foreløbigt aftalte ændringer i bedste fald skrives ned på et mødeno-

tat eller en privat seddel, og i værste fald blot bliver skrevet bag øret. Den videre kommunikation og lagring af beslutningerne er herefter ofte mangelfuld.



Figur 3-5: Løbende revidering af projekt mod bygherres ønske (Kiviniemi, 2005).



Figur 3-6: Løbende revidering af bygherrekrav hvor succeskriteriet for designet ændres (Kiviniemi, 2005).

Den kendsgerning, at det ofte er svært at holde overblikket over de mange krav til byggeriet, blev ligeledes underbygget i den indledende brancheundersøgelse i denne rapport. Det kan konkluderes, at der ligger et konkret problem i, at det er vanskeligt at bevare overblikket over den aktuelle status for et byggeprojekt, da informationerne for hele projektet ikke er lagret på en struktureret måde.

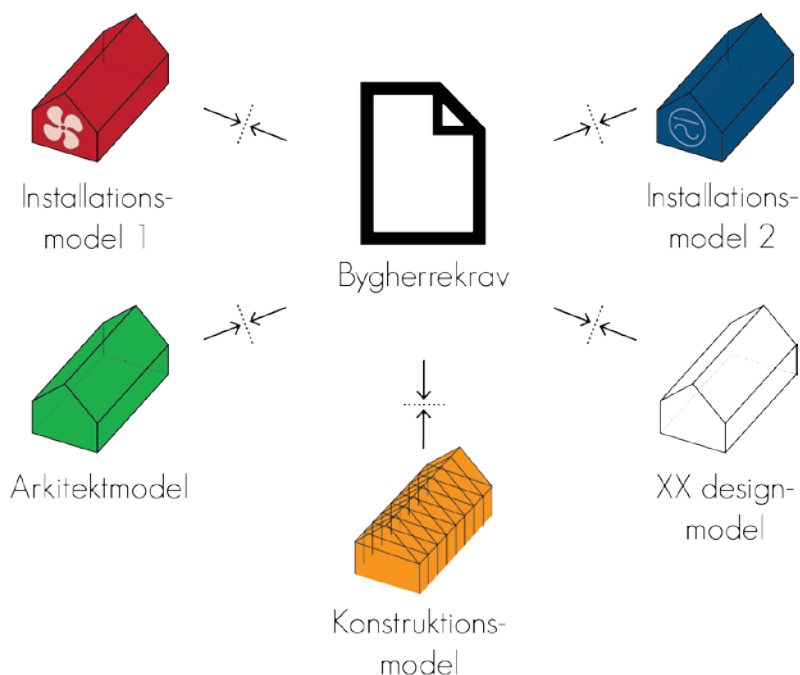
Ifølge Kiviniemi kan det sikres at projektet ikke skrider, hvis der forefindes bygherrekravmodel, som de forskellige fagområder kan krydstjekke givne designforslag op imod (Figur 3-7). Derved skabes et redskab, en form for stovekontrol, som projektet løbende kan valideres op imod.

For at dette skal fungere i praksis, er det nødvendigt, at datagrundlaget i kravmodellen vedligeholdes, således at det tilsvarende bygherres senest reviderede krav.

Metodikken kan også benyttes af bygherre til at evaluere, hvorvidt indleveret materiale lever op til de krav, der fra start blev stillet. I en artikel i *bips nyt* fra 2011 fortæller civilingeniør, Sajat Mahmudovski, hvordan det offentlige krav til digital aflevering har gjort, at der nu er bedre grundlag for at evaluere indleverede forslag ved konkurrencer (Østergaard, 2011). Han nævner et konkret eksempel, hvor arealer hentet fra modellen giver en større troværdighed, end hvis de blot leveres på et Excel-ark, som han vurderer, er svære at validere.

Marianne Thorbøll fortæller i samme artikel om, hvordan værktøjet Dalux BIM checker, bliver benyttet til at tjekke konsistensen i IFC-modeller. Hun anser dette program som et redskab, rådgiverne kan benytte til at kontrollere at deres model lever op til kravene.

Artiklen viser at nogle af metoderne fra Kiviniemis studie blev brugt i branchen i 2011. Da der i brancheundersøgelsen blev gennemført et interview af Marianne Thorbøll, blev der derfor spurgt dybere ind til, hvordan de konkret benytter disse metoder. Hun oplyste, at bygningsstyrelsens byggeprogram stadig udfærdiges og afleveres på traditionel vis.



Figur 3-7: Ved at holde de forskellige designmodeller op mod de af bygherre specificerede rammer, kan det overskueliggøres, hvorvidt det givne design opfylder kravene.

### 3.2.2 Retningslinjer for bygherre

Ud over bygherrekravene er der reglementer, normer og vejledninger, som sætter retningslinjer for designet. Inden for indeklimate er disse anbefalinger baseret på empiriske forsøg udført i tidens løb. Mange af de erfaringsbaserede designrammer stammer fra forsøg, der gennem 1960'erne og 1970'erne blev udført på DTU af Professor Povl Ole Fanger. Forsøgene danner grundlaget for PMV- og PPD-indekset, som opstiller en model for forudsigelse af, hvor tilfreds eller utilfreds en person vil være ved forskellige termiske forhold. Der udføres fortsat forsøg på ICIEE, som blandt andet belyser, hvordan mennesker præsterer ved forskellige indeklimaforhold.

En bygherre kan have særlige krav til energiforbrug og da pladsbehovet til kanaler er afhængigt af krav til elforbrug for ventilation, er det relevant at have fastlagt energikravene på et tidligt stadie.

Med udgangspunkt i kendte erfaringsbaserede designrammer, der relaterer sig til energi og indeklimate, kan bygherre, ved at tage stilling til relativt få ting, bestemme en række krav til bygningen. I standarderne (EN15251, CR1752, ISO7730) arbejdes der med 3 kvalitetsklasser: A, B og C, som definerer alle tænkelige krav til indeklimaet. Hvad angår energiforbrug, er der i det danske bygningsreglement (BR10) taget stilling til, hvor stort forbruget må være i 3 prædefinerede klasser: 2010, 2015 og 2020. Herudover findes der forskellige certificeringsordninger, som dokumenterer at en bygning er særligt bæredygtig. I USA benyttes LEED, i Storbritannien hedder ordningen BREEAM, og i Tyskland hedder den DGNB. Den Danske version er inspireret af den Tyske og har det samme navn. Fælles for certificeringsordningerne er, at bygherre kan sætte et niveau på, hvor miljøvenlig bygningen skal være, uden at skulle tage stilling til de enkeltparametre, der gør en bygning miljøvenlig.

## 3.3 Entydig kommunikation

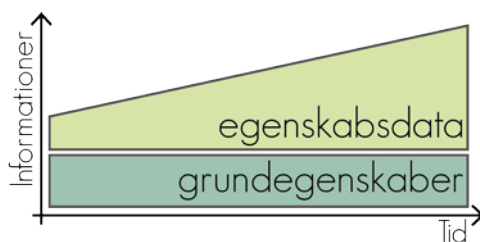
I det følgende studie fremstilles to tilgange til at skabe entydig kommunikation ved at fastlægge en fællesnævner for navngivning. Den ene tilgang tager udgangspunkt i at samle typiske definitioner og strukturere dem, og den anden fastsætter en struktur, som definerer.

I et forskningsprojekt omhandlende udvikling af en rumdatabase for automatiseret vurdering af bygningsdesign arbejdes der med en metode for automatisk klassificering af forskellige rumtyper (Lee, et al., 2012). Der blev specifikt arbejdet med amerikanske retsbygninger, men der lægges op til, at metoden også kan benyttes mere generelt.

I projektet blev en ekstern database udviklet med ruminformationer, som ikke kunne udledes direkte fra bygningsmodellen. Dermed var det muligt at sammenkoble forskellige rumtyper og deres klassificering i forhold til eksempelvis rummets brug, sikkerhedskode, standardareal, påkrævet areal, sikkerhedsklasse

osv. Sammenkoblingen foregik i projektet på baggrund af et sæt standardrum defineret i en såkaldt *master name table*, for hvilke ovennævnte egenskaber var fastlagt. Tilgangen med en tabel til oversættelse fungerer sådan, at rumnavnene *WC*, *toilet*, *badeværelse* eksempelvis alle kan oversættes til betegnelsen *WC*, med de egenskaber der hører til sådan et rum. I princippet er der uendelige kombinationer i denne oversættelse, og derfor er opgaven med at oprette en sådan oversætter meget omfattende. Til ovenstående eksempel kunne tilføjes *herretoilet*, *personalettoilet* eller endnu mere specifikt *lærertoilet* blot for at give en idé om omfanget.

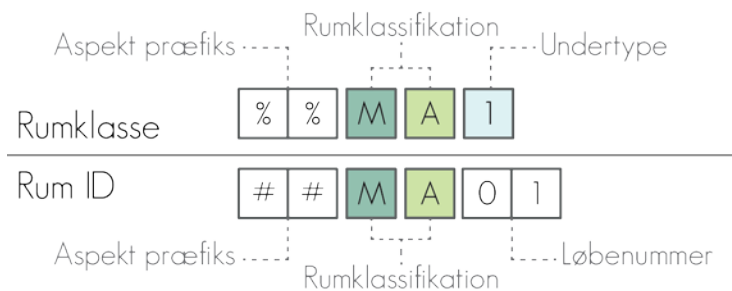
En oversætter er én tilgang til at skabe et fælles grundlag, men entydigheden kunne også skabes ved at klassificere rummene ud fra et klassifikationssystem, hvor alle tænkelige rumtyper er indeholdt. Et bud herpå kunne være CCS, som fra 2014 afløser DBK. I dette system klassificeres rum på flere niveauer (se Figur 3-10), og der gives mulighed for, at der oprettes projektspecifikke rumklasser efter behov. Dermed er der stadig konsensus imellem projektparterne når et rum omtales, og det gør det lettere at etablere en digital infrastruktur til normer, reglementer m.m.



Figur 3-8: Koncept for klassifikation og egenskabsdata.

I CCS skelnes der mellem forskellige typer af et givent objekt. Disse typer er projektspecifikke, og derfor er en dør type 1 fra projekt A ikke nødvendigvis lig en dør type 1 fra projekt B. Hvad der kendetegner en type, er givet ved de egenskaber, der er specificeret på projektniveau. Fordelen ved at klassificere på denne måde er, at typen i sig selv ikke indikerer noget om egenskaber for objektet, og dermed kan klassificeringen bevares gennem hele projektet, selvom det besluttes, at en egenskab skal ændres.

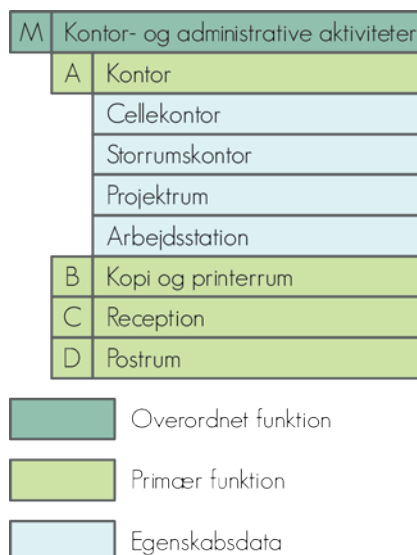




Figur 3-9: CCS kodning af rum. Type og ID.

I CCS arbejdes der med en kodningsstruktur, som i sin foreløbige form, på studiets tidspunkt, så ud som illustreret i Figur 3-9. Rumklasser (typer) kodes med aspekt præfiks %, og rum ID (rumnumre) med aspekt præfiks ##. Herudover findes aspektkoder for funktion og placering, som ikke blev studeret nærmere.

Det umiddelbare problem med kodningen af rum er, at det kun er rummets overordnede funktion, der fremgår af rumnumrene. I det viste eksempel Figur 3-10 fremgår det for eksempel kun, at rummet er af typen kontor og har løbenummer 1, men ikke at det er kontor af undertypen 1. For dimensionering af systemer har det væsentlig betydning, om rummet er et storrumskontor, cellekontor eller et projektrum, og derfor er det nødvendigt både at kommunikere rumklasse og id.



Figur 3-10: Cunecos foreløbige bud på en kodningsstruktur for brugsrum med den overordnede funktion: Kontor- og administrative aktiviteter.



# 4

## EN NY STRATEGI

---

I dette afsnit dokumenteres den udviklingsorienterede proces, hvorigennem et konkret løsningsforslag til en forbedret kommunikation til og fra HVAC-ingeniøren blev skabt. Med afsæt i hvilke informationer, materiale og krav HVAC-ingeniøren skal bruge, var intentionen, at løsningsforslaget skulle håndtere følgende krav:

Etablering af et specifikt designgrundlag ud fra bygherres krav og ønsker til det endelige byggeri, som faciliterer løbende designevaluering og revidering

Adgang for nøglepersoner til at se og ændre i grundlaget

Dokumentation af senest gældende designbeslutninger samt registrering af ansvarshavende part

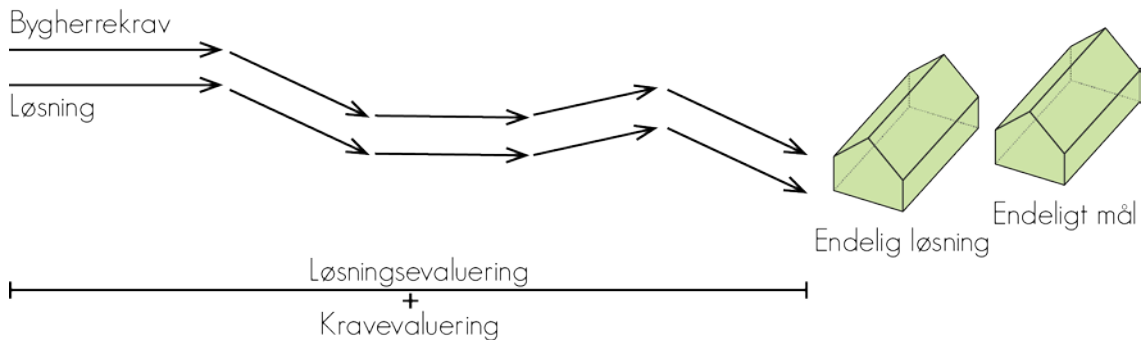
Underrettelse af de påvirkede parter ved udførelse af ændringer

Genanvendelse af allerede definerede informationer i flere henseender

Infrastruktur imellem software

Som ovenstående kravspecifikationer antyder, var der fokus på I'et i BIM både i form af Informationer og Infrastruktur. Derfor blev der arbejdet med at udvikle en databaseorienteret løsning, som kunne håndtere lagringen, såvel som struktureringen af informationerne. Det blev i de indledende studier erfaret, at BIM traditionelt set handler om software, som kræver erfaring at håndtere. I byggefaget er de med den største erfaring inden for installationer, ikke nødvendigvis de mest IT-kyndige, og dette giver nogle udfordringer. Derfor blev der i den udviklede løsning fokuseret på, at gøre informationer og beslutninger samt modellens aktuelle stade lettilgængeligt for alle, og valget faldt på en webbaseret løsning med et brugervenligt interface. En webbaseret løsning er platformneutral, og derfor kan denne afvikles på PC såvel som Mac og på tablet. Desuden kræves der ikke nogen særlig software, da programmet afvikles direkte i en internetbrowser.

Succeskriteriet for denne nye strategi er illustreret i Figur 4-1. Da krav og løsninger bindes op på samme database, vil en kravændring automatisk blive vist, netop for hvem denne ændring måtte berøre. Herudover vil bygherre, gennem et 'view', kunne se status på projektet. I praksis vil der være en vis form for forskning, fra en ændring udføres, til den accepteres af de berørte.




Figur 4-1: Automatisk evaluering af bygherrekrav og løsninger.

## 4.1 Koordinering af informationsflow

Cunecos tilgang med informationsudveksling på flere niveauer, som blev behandlet i litteraturstudiet, er interessant, fordi den definerer krav til leverancer. Tilgangen er derfor et redskab, som dels kan benyttes til at fastlægge hvilke informationer, der er til rådighed for HVAC-ingeniøren på et givent tidspunkt (krav til leverandører), og dels til at have klare rammer for hvad, der skal leveres til de øvrige parter (krav til HVAC-ingeniør). Utvetydig kommunikation og gensidig forståelse for parternes informationsbehov kan dermed opnås.

Med inspiration fra Cunecos metodik blev der indledningsvist arbejdet med at beskrive udvekslingskravene inddelt i 6 niveauer for bestemmelse af termiske og atmosfæriske krav til indeklimaet. Bygherres krav og arkitektens design er HVAC-ingeniørens primære informationsgivere. I bilag F ses en mere detaljeret beskrivelse af udvekslingskrav for det endelige produkt.

Tabel 4-1: Overordnede beskrivelser af informationsniveauerne 1 til 6 for HVAC-ingeniøren

Informations-niveau	Grundlag	Output
1	Overordnede rumtyper fastlagt.	Der genereres ikke output på niveau 1.
2	Detaljeret rumprogram. Indeholdende krav til rummenes brug. (ingen geometri)	Første bud på ventilationsbehov, og skøn af systemstørrelse.
3	 Sempel zoneinddelt geometri. Integreret designproces med arkitekt og fagområderne akustik-, dagslys- og energiingeniør.	Forventede krav til systemer. Foreløbige rumbehov baseret på steady-state beregninger og/eller termiske simulering Krav til konstruktioner og vinduesprocenter Energiramme
4	Endelig arkitektmodel	Endelige rumbehov baseret på termiske simuleringer. Endelige systembehov. Detaljeret dokumentation af energiforbrug.
5	Endelig arkitektmodel	Detaljeret eftervisning af indeklimaforhold
6	Målinger af den opførte bygning	Eftervisning

## Åbne formater

Både hvad angår input og output i Tabel 4-1, fokuseres der på at benytte egenskabsdata, som er indeholdt i IFC 2x3 specifikationen, se bilag E. Parameteren indeklimaklasse er ikke indeholdt i IFC-formatet, men det er mange af de parametre, som kan udledes heraf. Tabel Error!

**Use the Home tab to apply to the text that you want to appear here.-** viser en opsummering af hvilke af disse parametre, der er omfattet af IFC. Som det kan ses, er hverken støj eller CO<sub>2</sub>-koncentrationen indeholdt. Det er desuden umiddelbart en

udfordring at definere grænserne for relativ luftfugtighed som et interval, med mindre værdierne sommer og vinter benyttes. BuildingSMART giver mulighed for, at der benyttes customparametre i IFC. Hvis de anvendte parametre indberettes, er der mulighed for at de optages i en senere udgivelse af IFC. Problemet med customparametre er, at disse ikke nødvendigvis genkendes af det program, hvori IFC-filen skal læses.

Tabel Error! Use the Home tab to apply to the text that you want to appear here.-2: Egenskaber relateret til indeklimaklasse.

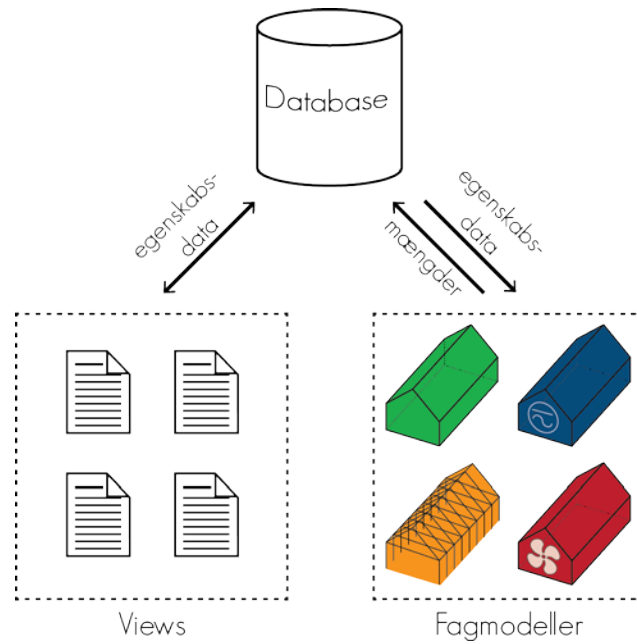
Parameter	Omfattet af IFC?
Max.temp. sommer	✓ SpaceTemperatureSummerMax
Max.temp. vinter	✓ SpaceTemperatureWinterMax
Min.temp. sommer	✓ SpaceTemperatureSummerMin
Min.temp. vinter	✓ SpaceTemperatureWinterMin
Max CO <sub>2</sub> -koncentration	—
Rel. luftfugtighed	(✓) SpaceHumidity
Min. belysning	✓ Illuminance
Min. ventilation	✓ MechanicalVentilationRate
Max støiniveau	—

### 4.1.1 BIM koordinering

I (Kiviniemi, 2005) redegøres der for fordelene ved at gøre informationer tilgængelige fra ét centralt sted. Dette kræver en indsigt i, hvilken arbejdsgang informationerne skal benyttes.

I "En ny strategi" tages der udgangspunkt i, at hver enkelt faggruppe arbejder i de værktøjer der er hensigtsmæssige for opgaven, men angiver de opnåede løsninger på en fælles struktureret måde. Hvad angår modellering, er det ikke nødvendigvis det samme CAD-redskab, der er hensigtsmæssigt at benytte for alle faggrupper, og derfor bør der arbejdes i fagspecifikke modeller, hvor løsninger udarbejdes. Mange CAD-værktøjer giver mulighed for at referere eksterne modeller ind, og på denne måde kan der tages højde for, at den løsning, der arbejdes hen imod, ikke konflikter med de øvrige fagdiscipliner. Som påpeget i brancheundersøgelsen kræver dette disciplin og tæt kommunikation, men det giver samtidig mulighed for at udarbejde et mere bygbart projekt.

I den foreslåede tilgang er fokus ikke på håndteringen af de geometriske konflikter, men snarere de informationsmæssige. Det er i flere henseender nødvendigt for en person inden for ét fag at specificere krav til et objekt, som tilhører en anden faggruppe, og derfor er det ikke hensigtsmæssigt at definere egenskaber direkte i modellerne. I den udviklede strategi arbejdes der derfor med at skabe rammer, som muliggør en central lagring af informationer, og en infrastruktur, som sikrer at beslutningerne kan spejles ud i de respektive modeller. Denne tilgang medfører at personer, der ikke har erfaring med modelleringsprogrammerne, kan bidrage med digital kravspecifikation, og derudover gøres vedligeholdelsen af informationerne lettere.

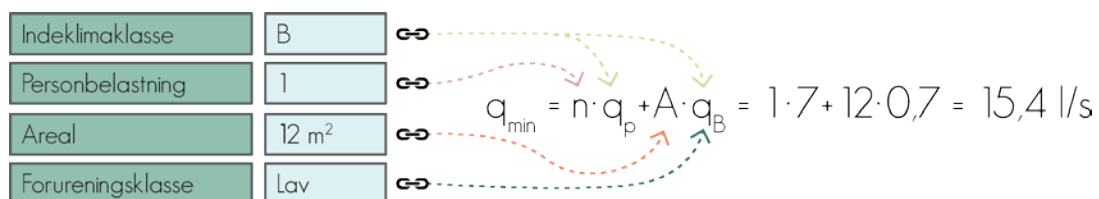


Figur 4-2: Samtlige informationer lagres i en central database, som synkroniseres med views og fag-modeller.

Figur 4-2 illustrerer skematisk, hvordan informationerne lagres i den centrale database. For at dette skal fungere, er det vigtigt, at der benyttes en disciplineret klassificering af samtlige rum og objekter, der er indeholdt i modellen.

Ved at sammenholde klassificerede rum og objekter med senest reviderede egenskabsdata er de aktuelt valide egenskaber altid til rådighed i modellen. Dermed minimeres risikoen for at sidde med udgåede data.

Med designrammer lagret i databasen er det muligt at udføre beregninger direkte med udgangspunkt i disse. Denne tilgang har den fordel, at gentagende indtastningsarbejde spares væk, samtidig med at der etableres et direkte link til oplysningernes grundlag. Figur 4-3 illustrerer et praktisk eksempel herpå.



Figur 4-3: Link mellem designkrav og mindste atmosfæriske ventilationsbehov.

Ved et dynamisk link kræves disciplin. Det er ikke ideelt, at beregningerne automatisk opdateres ved ændring af designrammerne, uden at underrette den person, der benytter beregningen.

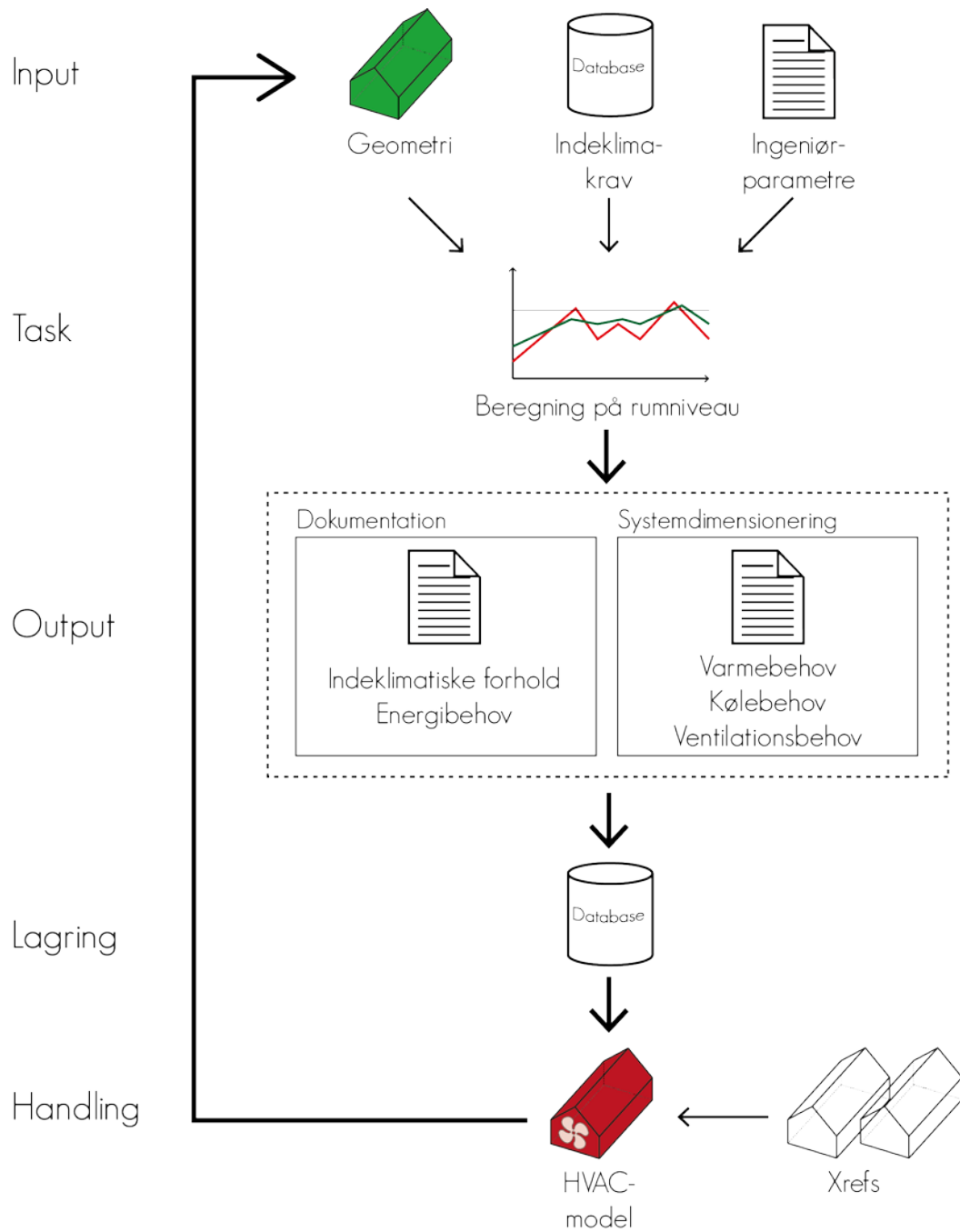
### 4.1.2 Interaktionsdiagram / Arbejdsprocessen

For at se HVAC-ingeniørens rolle i et større perspektiv blev en skitsering af den sammenhæng, energi- og indeklimasimuleringer indgår i, udført. Hvor (Hitchcock, et al., 2012) beskæftiger sig med hele projekteringen fra forslagsfasen til hovedprojekt, blev der i dette projekt fokuseret på den tidlige fase i hvad der i Tabel 4-1 kaldes informationsniveau 3. Denne fase udgøres af en iterativ proces, hvor arkitektens forslag gentagende gange evalueres i forhold til opfyldelsen af bygherres krav til indeklima og energiforbrug. I den integrerede arbejdsproces sparrers der løbende med arkitekten for at finde frem til den løsning, som bedst opfylder de gældende rammer.

Diagrammet i Figur 4-4 illustrerer en iterativ proces, som løbende finder sted i projektforløbet. Dermed kan ingeniøren komme med et kvalificeret bud på, om projektet fungerer hensigtsmæssigt, og der skabes et kommunikationsgrundlag for forbedringsforslag.

Udgangspunktet for processen er *Inputs*, som består af arkitektens geometri, og de af bygherre definerede indeklimakrav samt de ingeniørmæssige parametre. Disse danner grundlag for en *Task*; beregning eller simulering, hvor *Output* dokumenterer indeklimatiske forhold samt rammer for systemdimensionering. Ved en *Lagring* af de opnåede resultater i databasen, danner disse grundlag for en *Handling*, hvor resultaterne for eksempel overføres til en HVAC-fagmodel, hvor systemet modelleres evt. med reference til andre fagmodeller.

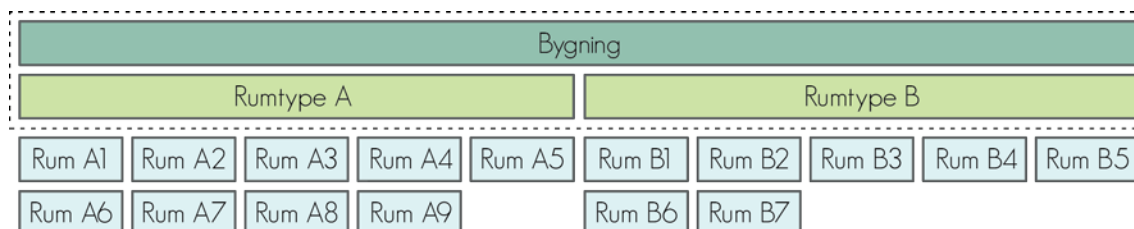




Figur 4-4: Skematisk fremstilling af workflow.

## 4.2 Definerings af designrammer

Når krav og designrammer skal defineres, er det en fordel at inddelle bygningen i niveauer. Diagrammet i Figur 4-5 viser grundstrukturen i den forslåede niveauopdeling. Jo højere oppe i hierarkiet en ændring kan foretages, jo flere rum påvirkes af ændringen, og dermed kan antallet af gentagelser reduceres.



Figur 4-5: Overordnet struktur for kravangivelser for rum. Kun bygning og rumtype er indeholdt i den foreløbige løsning.

Denne struktur er hensigtsmæssig når bygherre skal definere sine krav til byggeriet. For eksempel vil der for hele bygningen kunne angives en overordnet indeklimaklasse. Er der rumtyper som kræver andre indeklimatiske forhold kan disse defineres og samtlige rum under denne type vil dermed være underlagt dette. I tilfælde af at der er specielle rum der afviger fra typen skal dette angives på rumbasis.

For at kunne omsætte bygherres indeklimakrav til konkrete målbare inputdata, som senere kan benyttes i beregninger og i tredjepartsprogrammer, var det nødvendigt at kortlægge sammenhængene.

Figure 4-6 viser hvilke elementer, der indgår i et endeligt indeklimakrav. Bygherre tager stilling til den indeklimaklasse, der ønskes efter tilgangen i Figur 4-5. Hver enkelt defineret rumtype vil sammen med gældende normer og regler definerer de endelige indeklimakrav.

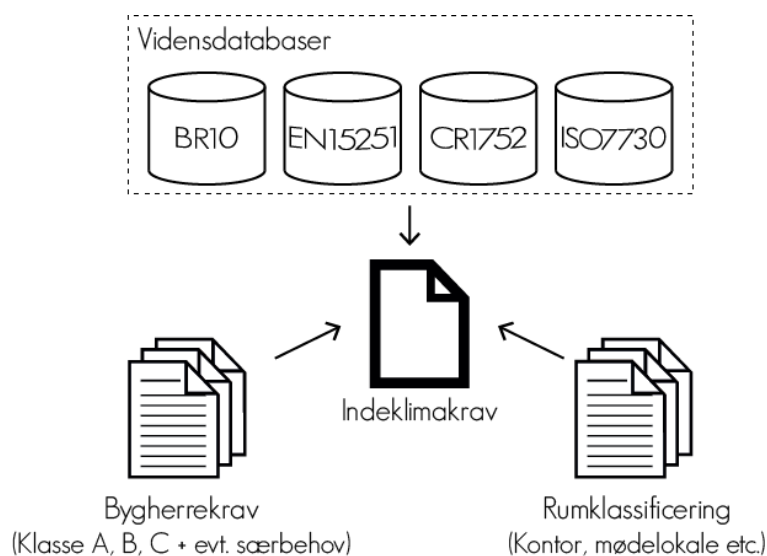
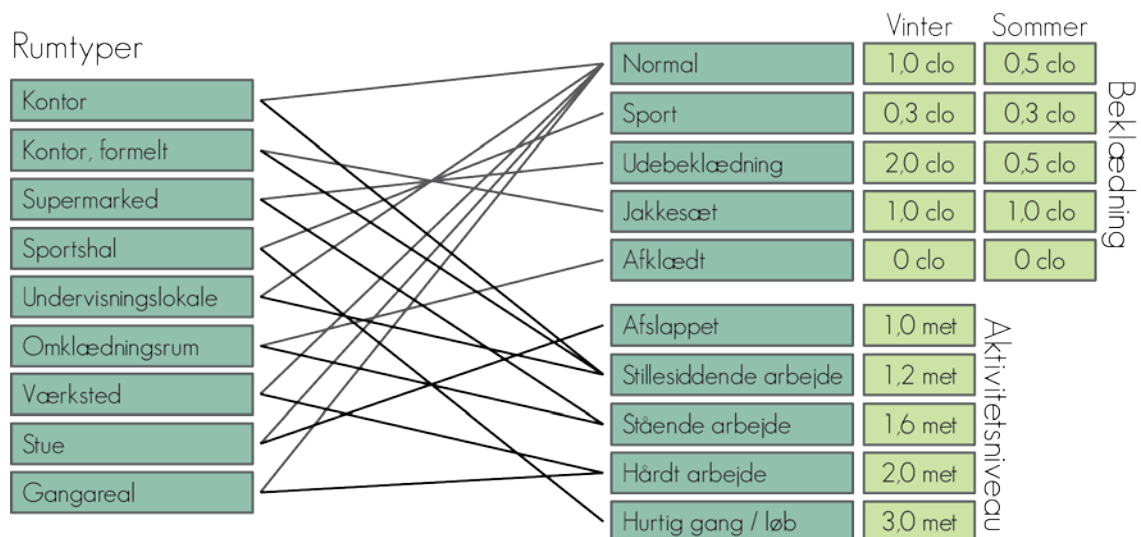


Figure 4-6: Indeklimakrav, sammenfattet af, bygherrekrav, rumklassificeringer og normer + regler.

## 4.2.1 Termisk indeklima

I EN 15251 (EN 15251, 2007) Tabel A.3 og ISO 7730 (ISO 7730, 2006) Tabel A.5 oplyses temperaturspænd for en sommer- og en vintersituation, som gælder for udvalgte rumtyper ved en given indeklimateklasse. Én tilgang til definering af designrammer for det termiske indeklimate kunne være at mappe de af byggherre definerede rumtyper op imod rumtyperne i disse tabeller. Det har den ulempe, at mappingen er begrænset til de prædefinerede rumtyper, og desuden er beklædningen låst til 0,5 clo om sommeren og 1,0 clo om vinteren, hvilket ikke gælder for alle typer rum. Da de eneste variable i beregningen er indeklimateklassen, beklædningsværdien og aktivitetsniveauet, var det derfor mere fleksibelt at definere temperaturspændet på baggrund af en reel beregning af PMV-indekset, som tabellerne tager udgangspunkt i.

For at skabe en mere fleksibel løsning, som eksempelvis tager højde for, at beklædningen i en sportshal er mindre end på et kontor, er det nærliggende at definere en tabel med nogle typiske beklædningsmønstre, som rumtyperne kan mappes op imod. En lignende mapping kan laves mellem rumtyper og aktivitetsniveauer. Et eksempel på mapping af rumtyper og deres brug er illustreret i Figur 4-7.



Figur 4-7: Mapping mellem rumtyper og deres brug.

Ved definering af den termiske komfort vha. Fangers PMV-indeks, benyttes de i Tabel 4-2 viste klassificeringsrammer (ISO 7730, 2006). PMV-indekset indikerer, hvorvidt en person vil forventes at have det for varmt (+), for koldt (-) eller lige tilpas (0). I beregningen indgår en række termiske parametre, men ved at benytte faste antagelser ( $RH_s=60\%$ ,  $RH_w=40\%$ ,  $t_r=t_a$ ,  $v_a=0,1$  m/s), som også benyttes for tabelværdier gældende for standardrum, er det muligt at begrænse omfanget af variable til PMV, temperatur, beklædning og aktivitetsniveau. I Figur 4-9 er vist et script, som blev udarbejdet til automatisk at bestemme relationen imellem PMV, aktivitetsniveau og beklædning.

Tabel 4-2: Forhold mellem indeklimaklasse og PMV/PPD (ISO 7730, 2006).

Indekli- maklasse	PPD [%]	PMV
A	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
B	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
C	< 15	-0,7 < PMV < +0,7

Hvor PMV-indekset udtrykker, hvorvidt en person vil føle det er varmt eller koldt, udtrykker PPD-indekset blot hvor stor en andel af personerne, der vil føle ubehag. PPD-indekset regnes af (ISO 7730, 2006):

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-0,33 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2} \quad [\%]$$

PMV og PPD er ikke noget en bygherre skal tage stilling til, men da det er disse indices, der ligger til grund for evalueringen af den termiske komfort, er det relevant at have det med. For HVAC-ingeniøren er det vigtige parametre, som indgår i overvejelsen af systemvalg.

I php-funktionen, illustreret i Figur 4-9, beregnes den temperatur, inden for et spænd af 0,5 °C, som opfylder et givent PMV-krav ud fra de i Figur 4-8 definerede input. Beregningstypen angives som 1, hvis det er en maksimumstemperatur, der skal beregnes, og som 0, hvis det er en minimumstemperatur, og PMV-kravet angives numerisk. Outputs omfatter endvidere det PMV- og PPD-indeks, som gælder for den udregnede temperatur.

Funktionen er sådan bygget op, at PMV regnes i temperaturstep af 0,5 °C startende ved 30 °C for maks- og 15 °C for minimumstemperaturer. Opfylder resultatet ikke det angivne kriterium, køres en ny iteration, indtil målet er nået.

Hvis det eksempelvis ønskes at bestemme den maksimalt tilladte temperatur, som opfylder indeklimaklasse B ( $PMV < |0,5|$ ) i en sommersituation, hvor personen har en beklædning på 0,5 clo og et aktivitetsniveau på 1,2 met, bliver resultatet:

$$PMV(1,2,0,5,0,5,60,1): \quad T_{max} = 26 \text{ °C} \quad PMV = 0,46 \quad PPD = 9,4$$

Ved at benytte funktionen i forbindelse med database udtræk fra tabeller som dem illustreret i Figur 4-7.

<b>Input</b>
Metabolisme (\$M) [met]
Beklædning (\$C) [clo]
PMV krav  (\$PMVgoal)
Relativ luftfugtighed (\$RH) [%]
Beregningstype (\$calctype) [1/0]
<b>Output</b>
Temperaturgrænse (\$ta) [°C]
PMV (\$PMV)
PPD (\$PPD)

Figur 4-8: Funktion in- og output

```

function PMV($M,$C,$PMVgoal,$RH,$scalctype){
//INPUT
$M = $M*58.2;           //Metabolisme i W/m2
$W = 0;                 //Effektiv mekanisk energi i W/m2
$lcl = $C*0.155;       //Beklædningsisolans i m2K/W
$var = 0.1;            //Relativ lufthastighed

if($scalctype == 1){   //scalctype 1 er for bestemmelse af maxtemperatur
    $ta = 30;          //Temperatur gæt (for 1. iteration)
    $trim = (-0.5);    //Ved iterationer sænkes temperaturen gradvist
    $PMV = 1;          //Af beregningsgrunde (for 1. iteration)
}
elseif($scalctype == 0){ //scalctype 2 er for bestemmelse af maxtemperatur
    $ta = 15;          //Temperatur gæt (for 1. iteration)
    $trim = 0.5;       //Ved iterationer høves temperaturen gradvist
    $PMV = (-1);       //Af beregningsgrunde (for 1. iteration)
}

/*BEREGNING*/
if ($lcl <= 0.078){
    $fcl = 1.00+1.290*$lcl; //"clothing surface area factor" [ISO7730 (4)]
}
else {
    $fcl = 1.05+0.645*$lcl; //"clothing surface area factor" [ISO7730 (4)]
}
while(abs($PMV) > $PMVgoal){
    $tr = $ta;          //Strålingstemperatur lig lufttemperatur

    $ps = exp(16.6536-(4030.183/($ta+235))); //Mættet vanddamptryk i kPa
    $pa = $RH*10*$ps;   //Vanddamptryk i Pa

    //Beklædning overfladetemperatur beregnes [ISO7730 (2)(3)]
    $tclx = $ta;        //Overfladetemperatur gæt (lufttemperatur)
    $diff = 10;         //Startværdi for afvigelse
    $acc = 0.00015;     //Tolerance

    //Itererer indtil tolerance er opnået
    while ($diff > $acc) {
        //Konvektiv varmeledningsevne i W/m2K [ISO7730 (3)]
        if (pow((2.38*abs($tclx-$ta)),0.25) > 12.1*sqrt($var)) {
            $hc = pow((2.38*abs($tclx-$ta)),0.25);
        }
        else {
            $hc = 12.1*sqrt($var);
        }
        //Beklædning overfladetemperatur [ISO7730 (2)]
        $tcl = 35.7-0.028*($M-$W)-$lcl*(3.96*pow(10,-8)*$fcl*(pow(($tclx+273),4)-
        pow(($tr+273),4))+$fcl*$hc*(($tclx-$ta)));

        //Input til næste iteration
        $diff = max($tcl,$tclx)-min($tcl,$tclx); //Foreløbig tolerance
        $tclx = ($tcl+$tclx)/2; //Justering af beklædning overfladetemperatur
    }

    //Beregning af PMV [ISO7730 (1)]
    $PMV = (0.303*exp(-0.036*$M)+0.028)*((($M-$W)-3.05*pow(10,-3)*(5733-6.99*($M-$W)-
    $pa)-0.42*((($M-$W)-58.15)-1.7*pow(10,-5)*$M*(5867-$pa)-0.0014*$M*(34-$ta)-
    3.96*pow(10,-8)*$fcl*(pow(($tcl+273),4)-pow(($ta+273),4))- $fcl*$hc*(($tcl-$ta)));
    //Beregning af PPD [ISO7730 (5)]
    $PPD = 100-95*exp(-0.03353*pow($PMV,4)-0.2179*pow($PMV,2));

    //Input til næste iteration
    if (abs($PMV) > $PMVgoal) {
        $ta = $ta+$trim;
    }
}
return array($ta,round($PMV,2),round($PPD,1));
}

```

Figur 4-9: PHP-funktion til bestemmelse af min- og max-temperatur ud fra PMV, aktivitetsniveau, RF og beklædning.

## Fugtforhold

I tilfælde hvor der benyttes af- eller befugtning, er det relevant at definere grænser for fugtforholdene i et rum. Det anbefales at begrænse det absolutte fugtindhold til 12g/kg, og derudover specificeres der øvre og nedre grænser, som kan ses i Tabel 4-3 (EN 15251, 2007). Grænserne er baseret på komfortkrav fra personer, og derfor gælder de kun for opholdsrum.

Tabel 4-3: Fugtforhold for indeklimaklasser (EN 15251, 2007).

Indeklimaklasse	RH <sub>max</sub> [%]	RH <sub>min</sub> [%]
A	50	30
B	60	25
C	70	20

### 4.2.2 Atmosfærisk indeklima

Der findes ikke et standardindeks for indeluftens kvalitet. Derfor defineres kravet til det atmosfæriske indeklima typisk ved et mindstekrav til ventilationsmængden eller et loft for CO<sub>2</sub>-koncentrationen, hvor mennesker er den primære forureningskilde.

Minimumsventilationen for opretholdelse af et sundt atmosfærisk indeklima kan bestemmes på baggrund af en indeklimaklasse, en forureningsklasse, rummets størrelse og den interne personbelastning (EN 15251, 2007).

$$q_{min} = n \cdot q_p + A \cdot q_B$$

hvor  $q_{min}$  er den nødvendige volumenstrøm for opretholdelse af et godt atmosfærisk indeklima [l/s],  $n$  er antallet af personer i lokalet,  $q_p$  er den nødvendige volumenstrøm for dunste fra personer [l/s,pers].  $A$  er gulvarealet [m<sup>2</sup>] og  $q_B$  er den nødvendige volumenstrøm for dunste fra bygningen [l/s,m<sup>2</sup>].

Den generelle formel forudsætter en ventilationseffektivitet på 1, som opnås ved fuld opblanding. Hvis den reelle sensoriske og kemiske forurening fra rum og personer er kendt, kan kravet til et komfortabelt og sundt atmosfærisk indeklima specificeres yderligere i henhold til (CR 1752, 2001).

Bygningens forureningsklasse afhænger af de benyttede materialer, og i (EN 15251, 2007) Annex C behandles det hvilke krav, der stilles til klasserne "lav" og "meget lav".

Hvis ikke den reelle personbelastning kendes, kan der i stedet anvendes vejledende værdier fra for eksempel HFB eller (EN 15251, 2007) Tabel B.2.

Kravene til de nødvendige volumenstrømme  $q_p$  og  $q_B$  afhænger af indeklima- og forureningsklassen, og kan aflæses af Tabel 4-4.

Tabel 4-4: Anbefalede ventilationsrater og CO<sub>2</sub>-koncentrationer (over udendørs) for ikke-beboelsesbygninger (EN 15251, 2007).

Indeklima- klasse	Personer	Bygningsemissioner, forureningsklasser $q_B$ [l/s/m <sup>2</sup> ]			CO <sub>2</sub> [ppm o. ude]
	$q_p$ [l/s/pers]	Meget lav	Lav	Ikke lav	
A	10	0,5	1	2	350
B	7	0,35	0,7	1,4	500
C	4	0,2	0,4	0,8	800

### 4.2.3 Kunstig belysning

I (EN 15251, 2007) defineres krav til belysningen for forskellige rumtyper. I Danmark er det dog mere nærtliggende at tage udgangspunkt i DS 700, som definerer krav til kunstig belysning i arbejdslokaler. Mappingen til de forskellige rumtyper kan udføres, hvis en tabel med krav for de forskellige rumtyper oprettes.

### 4.2.4 Øvrige indeklimaparametre

Det ville være muligt også at definere en række andre indeklimaparametre som eksempelvis inden for akustik og dagslys, der kunne mappes på forskellige rumtyper. Dette var der dog ikke lagt vægt på i dette projekt.

## 4.3 Systemdesign på baggrund af designrammer

### 4.3.1 Ventilation / køling

Grundventilationen blev defineret i afsnit 4.2.2. Denne er dermed fastlagt i designrammerne. For at bestemme den nødvendige ventilationsmængde for opretholdelse af det termiske indeklima, er det derimod nødvendigt at udføre beregninger med udgangspunkt i designrammerne. Dette kræver, at der i angivelsen af designrammer er taget stilling til ønskede temperaturforhold og varmekilder i rummet.

Først og fremmest er det nødvendigt at bestemme den samlede interne varmebelastning fra belysning, udstyr, personer og solindstråling. Tabel 4-2 viser de formler, der benyttes til at bestemme de enkelte varmebelastninger. I kolonnen input specificeres desuden, hvorfra inputs til beregningen kan bestemmes. Symbolet  $\square$  betyder at værdien hentes fra en tabel indeholdt i en database.

Bygherre er (evt. i samråd med driftsherre, slutbruger og/eller bygherrerådgiver) den bedst kvalificerede til at angive parametre der relaterer sig til rummets brug, og derfor må det antages, at bygherre definerer kilderne til den interne varmebelastning. I de tilfælde hvor der ikke er taget stilling til interne varmekilder er det muligt at definere erfaringsbaserede overslag for interne belastninger i forskellige rumtyper. Dette kræver et studie i typiske rumbrug.

#### Lokal køling

Varmebelastningen kan fjernes ved at installere direkte køling i rummet i form af termoaktive konstruktioner eller kølebafler. For køling ved kølelofter og -gulve, kan køleeffekten ( $\Phi_{køling}$ ) estimeres ved (Olesen, Babiak, & Petráš, 2009):

$$\begin{aligned} \text{Loftkøling: } \Phi_{køling} &= 8,92 \cdot (|\theta_i - \theta_{s,m}|)^{1,1} && \left[ \frac{W}{m^2} \right] \\ \text{Gulvkøling: } \Phi_{køling} &= 7 \cdot (|\theta_i - \theta_{s,m}|) && \left[ \frac{W}{m^2} \right] \end{aligned}$$

hvor  $\theta_i$  er rummets operative temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ], som angivet i designrammer og  $\theta_{s,m}$  er kølefladens gennemsnitlige overfladetemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]. Sidstnævnte bestemmes ud fra den ønskede køleeffekt.



Tabel 4-5: Beregning af interne varmebelastninger

Output	Formeler	Input
Belysning [W/m <sup>2</sup> ]	<p>I henhold til (Munck &amp; Clausen, 2008) kan effektbehovet til belysning bestemmes ved:</p> $\Phi_{\text{light}} = \frac{E}{\eta \cdot \eta_b \cdot v}$ <p>hvor <math>\Phi_{\text{light}}</math> er varmeafgivelsen [W/m<sup>2</sup>], <math>E</math> er middelbelysningsstyrken [lux], <math>\eta</math> er lyskildens lysudbytte inkl. tab i forkoblinger [lm/W], <math>\eta_b</math> er belysningsvirkningsgraden og <math>v</math> er vedligeholdelsesfaktoren, givet ved:</p> $v = v_{\text{lyskilde}} \cdot v_{\text{smuds,a}} \cdot 0.95(v_{\text{smuds,r}})$ <p>hvor <math>v_{\text{lyskilde}}</math> er den del af vedligeholdelsesfaktoren, der svarer til lyskildens samlede lysstrømsnedgang, <math>v_{\text{smuds,a}}</math> er tilsmudsningfaktoren for armaturet og <math>v_{\text{smuds,r}}</math> er tilsmudsningfaktoren for rummet</p>	<p><math>E</math> defineres ud fra rumtypen </p> <p><math>\eta</math> defineres ud fra typen af lyskilde </p> <p>For <math>\eta_b</math> kan antages 0,8. Dette er en grov antagelse, idet faktoren afhænger af rummets og armaturets udformning og overflader.</p> <p>For <math>v</math> kan 0,8 benyttes. Dette er ligeledes en grov antagelse baseret på middelværdier i (DS 700, 2005).</p>
Udstyr [W]	<p>Det samlede varmetilskud fra udstyr regnes ud fra en simpel række:</p> $\Phi_{\text{equip}} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \Phi_{\text{equip},i}$ <p>hvor <math>\Phi_{\text{equip}}</math> er varmeafgivelsen i [W], <math>a_i</math> er antallet af den enkelte udstyrstype, <math>\Phi_{\text{equip},i}</math> er varmeafgivelsen fra den enkelte udstyrstype [W] og <math>n</math> er antallet af forskellige udstyrstyper defineret for rummet</p>	<p>De forskellige typer udstyr og deres tørre varmeafgivelse </p>
Person-belastning [W]	<p>I henhold til (EnergyPlus, 2012) kan det sensible varmetilskud (tør varme) bestemmes ud fra følgende regression:</p> $\Phi_{\text{pers}} = n(6,461927 + 0,946892M + 0,0000255737M^2 + 7,139322T - 0,0627909TM + 0,0000589172TM^2 - 0,198550T^2 + 0,000940018T^2M - 0,00000149532T^2M^2)$ <p>hvor <math>\Phi_{\text{pers}}</math> er varmeafgivelsen i [W], <math>M</math> er personernes metabolisme [W], <math>T</math> er rumtemperaturen [°C] og <math>n</math> er antallet af personer</p>	<p><math>M</math> baseret på rumtype </p> <p><math>T</math> baseret på designrammer </p> <p>Til systemdimensionering benyttes maxtemperaturen for en sommersituation.</p>
Solvarmetilskud [W]	<p>Solvarmetilskuddet bestemmes i henhold til (Terpæger, Andersen, Heiselberg, &amp; Aggerholm, 2002) ved:</p> $\Phi_{\text{solar}} = A \cdot g_g \cdot f_{\beta} \cdot f_{\text{shading}} \cdot f_{\text{shadow}} \cdot f_g \cdot I_{\text{solar}}$ <p>hvor <math>\Phi_{\text{solar}}</math> er solvarmetilskuddet i [W], <math>A</math> er vinduesarealet [m<sup>2</sup>], <math>g_g</math> er rudens solvarmetransmittans (<math>g</math>-værdi), <math>f_{\beta}</math> er vinkelfaktoren, <math>f_{\text{shading}}</math> er afskærmningsfaktoren, <math>f_{\text{shadow}}</math> er skyggefaktoren, <math>f_{\text{glas}}</math> er vinduesarealets glasandel og <math>I_{\text{solar}}</math> er det samlede udvendige solindfald på glasfladen fra den direkte, indirekte og reflekterede solstråling [W/m<sup>2</sup>]</p>	<p><math>g_g</math>, <math>f_{\beta}</math>, <math>f_{\text{shading}}</math>, <math>f_{\text{shadow}}</math>, <math>f_{\text{glas}}</math> angives af ingeniør.</p> <p><math>A</math> i de tidlige faser angives som vinduesandel pr. gulvareal.</p> <p>Gulvareal kan i givet fald være programarealet </p>

Der er grænser for hvor lavt temperaturen kan sættes, idet denne har indflydelse på de lokale komfortforhold ifht. strålingsasymmetri. Desuden kan et koldt gulv føles ubehageligt for personerne i rummet. I (ISO 7730, 2006) angives krav til de lokale komfortforhold som følger af strålingsasymmetri (Tabel 4-6) og kolde gulve (Tabel 4-8).

Disse skal overholdes, når der anvendes strålingskøling.

Tabel 4-6: Temperaturstrålingsasymmetri grænser (ISO 7730, 2006).

Indeklima-klasse	Temperaturstrålingsasymmetri	
	Kold væg	Koldt loft
A	< 10 °C	< 14 °C
B	< 10 °C	< 14 °C
C	< 13 °C	< 18 °C

### Luftbåren køling

Hvis ikke der er installeret lokal køling, eller hvis kølingen ikke er tilstrækkelig til at fjerne hele varmebelastningen, skal varmebelastningen fjernes via ventilationen. Den nødvendige ventilationsmængde bestemmes af:

$$q_{\max} = \frac{\Phi_{\text{tot}} - \Phi_{\text{køling}}}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta T} \left[ \frac{l}{s} \right]$$

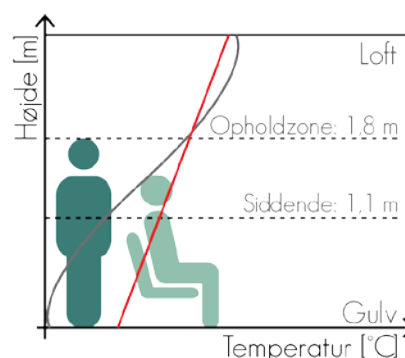
hvor  $\Phi_{\text{tot}}$  er det samlede interne varmetilskud [W],  $c_p$  er den specifikke varmekapacitet for ventilationsluften [J/kgK],  $\rho$  er ventilationsluftens densitet [kg/l] og  $\Delta T$  er temperaturforskellen mellem indblæsnings- og udsugningsluften.

### Ventilationsstrategier

Ventilationsstrategien har indflydelse på hvilket temperatursæt, der benyttes for indblæsning og udsugning, og dermed har det indflydelse på hvor meget varme, der kan fjernes ved en given volumenstrøm.

For opblandningsventilation kan det, hvis der antages fuld opblanding, forventes, at udsugningstemperaturen er den samme som temperaturen i rummet. Dermed kan udsugningstemperaturen som udgangspunkt defineres som den øvre grænse for den tilladte temperatur i rummet. Hvis ikke der benyttes køling, er indblæsningstemperaturen den samme som udetemperaturen.

Ved fortrængningsventilation opstår der en termisk lagdeling, som især kan udnyttes i høje rum. Lagdelingen bevirker, at der opstår en temperaturgradient, hvor temperaturen stiger som funktion af rumhøjden (se Figur 4-10). Temperaturen for termisk komfort måles typisk i 1,1 meters højde, og dermed kan der ved fortrængningsventilation tillades en højere udsugningstemperatur.



Figur 4-10: Fortrængningsventilation koncept.

Returlufttemperaturen ved fortrængningsventilation kan bestemmes ved følgende to ligninger, hvoraf  $T_G$  og  $T_R$  er ubekendte:

$$T_G = T_F + \kappa(T_R - T_F)$$

$$\frac{y}{H} = \frac{T_y - T_G}{T_R - T_G}$$

hvor  $T_G$  er temperaturen ved gulvhøjde [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $T_R$  er returlufttemperaturen [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $T_F$  er forsyningsluftens temperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ],  $H$  er rumhøjden [m],  $y$  er målehøjden [m],  $T_y$  er temperaturen i højden  $y$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] og  $\kappa$  er temperaturgradienten. For kontorer og lignende benyttes typisk en temperaturgradient på 0,5.

Ved anvendelse af fortrængningsventilation er det vigtigt at undersøge, om der opstår lokal diskomfort som følge af den lodrette lufttemperaturændring. Kravene for de forskellige indeklimaklasser er oplistet i Tabel 4-7.

Tabel 4-7: Vertikal  $\Delta t$  (ISO 7730, 2006).

Indeklima-klasse	Vertikal lufttemperaturforskel
A	< 2 $^{\circ}\text{C}$
B	< 3 $^{\circ}\text{C}$
C	< 4 $^{\circ}\text{C}$

Den såkaldte nærzone tæt på armaturet kan ikke benyttes til ophold på grund af trækgener. For at sikre den termiske lagdeling stilles der særligt krav til at indblæsningstemperaturen er lavere end temperaturen i rummet. En fornuftig lagdeling betyder, at der kan opnås en ventilationseffektivitet på over 1, og dermed kan der oprettholdes en bedre luftkvalitet i rummet ved lavere ventilationsrater.

Når det er bestemt hvilken ventilationsstrategi og hvilke ventilationsbehov, der er nødvendige, kan kanalerne dimensioneres efter krav til akustiske forhold, tryktab og hastigheder. Ved angivelse af naturlig ventilation bør der desuden gives mulighed for at definere, hvor stor en del af volumenstrømmen, der tilvejrbringes herigennem. Dermed kan det bestemmes hvor meget luft, der skal distribueres til rummet gennem kanaler, og et overslag på kanalstørrelser kan gives.

Som udgangspunkt gives der kun mulighed for at definere kravene på rumtypebasis, men ved at lave et simpelt interface for gruppering af rum (evt. diagrammatisk), kunne en opsummering håndteres, og dermed ville det være muligt at bestemme pladsbehov til føringsveje.

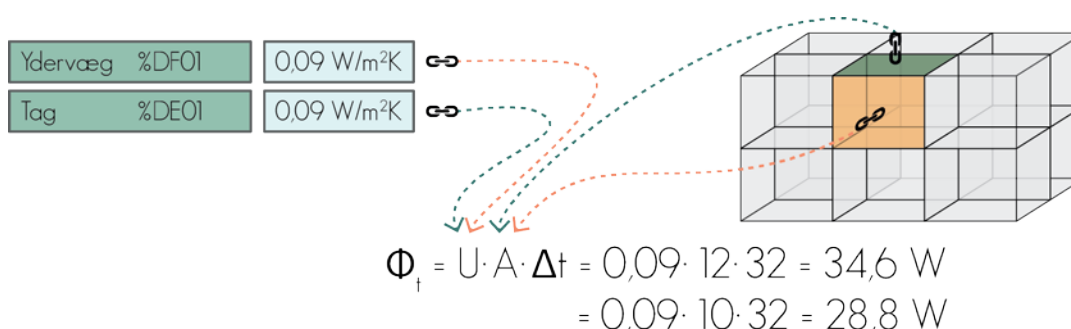
### 4.3.2 Opvarmning

For at bestemme opvarmningskildens nødvendige størrelse skal rummets varmetab kendes. Da transmissionsstabet i høj grad afhænger af bygningens geometriske udformning, er det praktisk talt umuligt at bestemme udelukkende på baggrund af designrammerne. Der kunne benyttes antagelser omkring vægareal i forhold til gulvareal eller lignende, men det ville være en grov forsimpning, idet nogle rum er indeliggende, imens andre er hjørnerum osv.

Ved at linke rumprogrammet til en BIM-model, kan dele af klimaskærmen, som tilhører de enkelte rum, potentielt eksporteres til brug i beregninger. Denne forbindelse ville skabe et dynamisk led og derved sikre, at varmekilden designes i forhold til gældende geometri.

Hvis både transmissionsarealer, kuldebrolængder og konstruktionsopbygninger er defineret, kendes alle de nødvendige parametre for bestemmelse af transmissionstab på rumbasis.

Udfordringen i denne tilgang består i associeringen af klimaskærmens dele til de enkelte rum ud fra opmålingsregler gældende i (DS 418, 2011). Der blev ikke arbejdet med etableringen af et sådant link i denne rapport.



Ventilationsvarmetabet i en vintersituation beregnes af:

$$\Phi_v = q \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T \quad [\text{W}]$$

Ventilationen udgøres uden for bygningens brugstid kun af infiltrationen. I brugstiden er både grundventilationen og infiltrationen til stede. For temperaturforskellen gælder samme regler som beskrevet i afsnit 4.3.1, men i en vintersituation anvendes typisk en højere indblæsningstemperatur.

Tabel 4-8: Gulvtemperaturspænd (ISO 7730, 2006).

Indeklima-klasse	Gulvtemperatur
A	19-29 °C
B	19-29 °C
C	17-31 °C

Varmekilden i rummet skal dimensioneres sådan, at den kan levere den samlede energi, der tabes gennem transmissionstab og ventilationstab. Hvis varmen leveres med termoaktive konstruktionsdele, er det relevant at bestemme den nødvendige overfladetemperatur for at levere den fornødne effekt (Olesen, Babiak, & Petráš, 2009).

$$\begin{aligned} \text{Gulvvarme: } \Phi_{\text{opvarmning}} &= 8,92 \cdot (|\theta_i - \theta_{s,m}|)^{1,1} && \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \\ \text{Loftvarme: } \Phi_{\text{opvarmning}} &= 6 \cdot (|\theta_i - \theta_{s,m}|) && \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \end{aligned}$$

Tabel 4-9: Temperaturstrålingsasymmetri grænser (ISO 7730, 2006).

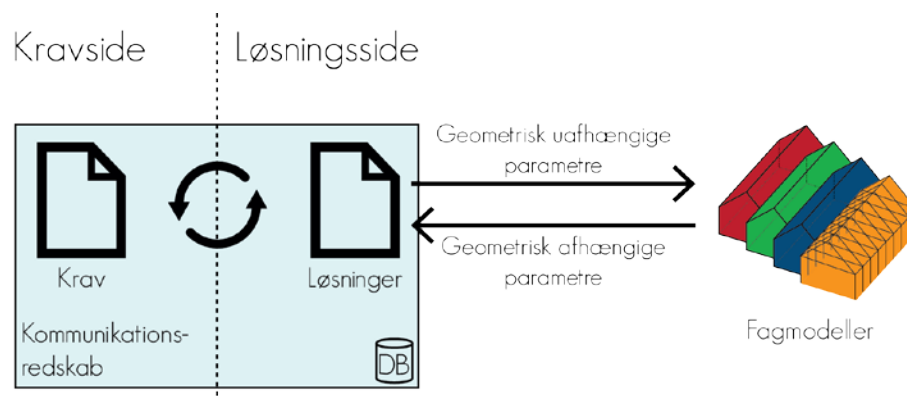
Indeklima- klasse	Temperaturstrålingsasymmetri	
	Varmt loft	Varm væg
A	< 5 °C	< 23 °C
B	< 5 °C	< 23 °C
C	< 7 °C	< 35 °C

For køling med termoaktive konstruktioner var det nødvendigt at evaluere de lokale komfortforhold, og det er det også for opvarmning. Tabel 4-8 Viser de tilladte temperaturspænd for gulvtemperaturen, og Tabel 4-9 viser forhold, der skal opfyldes iht. strålingsasymmetri.

## 4.4 Strategi for Synkronisering

I de forgående afsnit blev der redegjort for samspillet mellem bygherres krav og rådgivernes løsninger. I forlængelse af strategien omkring central databaseorienteret lagring, som blev præsenteret i afsnit 4.1.1, blev der i dette afsnit arbejdet med at konkretisere, hvordan håndtering og synkronisering af data rent praktisk kan håndteres.

Den overordnede strategi for udvekslingerne håndteres som illustreret i Figur 4-11. På kravside er bygherres rammer, som danner randbetingelserne for løsningerne. Løsningerne lagres på løsningssiden af databasen, og gennem en brugerflade kan de aktuelle beslutninger og resultater tilgås og revideres af bygherre. Dermed gives der på struktureret vis mulighed for at foreløbige krav og løsninger sammenholdes, og danner grundlag for den videre udvikling.



Figur 4-11: Synkroniseringsstrategi mellem databasedrevet kommunikationsredskab og fagmodeller.

Ved synkronisering af data mellem den centrale database og fagmodellerne, skal der være klare retningslinjer for, hvad der defineres hvor. Grundlæggende kan informationerne i en fagmodel inddrages i geometrisk bestemte og geometrisk uafhængige. Hvilken af disse to kategorier informationerne tilhører, har indflydelse på, hvordan synkroniseringen skal håndteres.

### **Geometrisk uafhængige parametre**

For geometrisk uafhængige parametre, er det løsningen, lagret i den centrale database, der er gældende. Beslutninger truffet af fagspecialister dokumenteres og lagres centralt, og besluttede egenskaber synkroniseres til de respektive rum og objekter i modellerne efter behov. Eksempler på geometrisk uafhængige parametre er brandklasser, temperatursætpunkter, ventilationens behov og g-værdier.

### **Geometrisk afhængige parametre**

For geometrisk afhængige parametre er det først, når løsningen har vist sig at kunne blive implementeret i modellen, at parameteren er gældende i den centrale database. Der kan fra konstruktions- og energiingeniørens side stilles funktionskrav, men løsningen er ikke dokumenteret, før den er indarbejdet i modellen og herefter opdateret i den centrale database. Eksempler på geometrisk afhængige parametre er arealer og U-værdier.

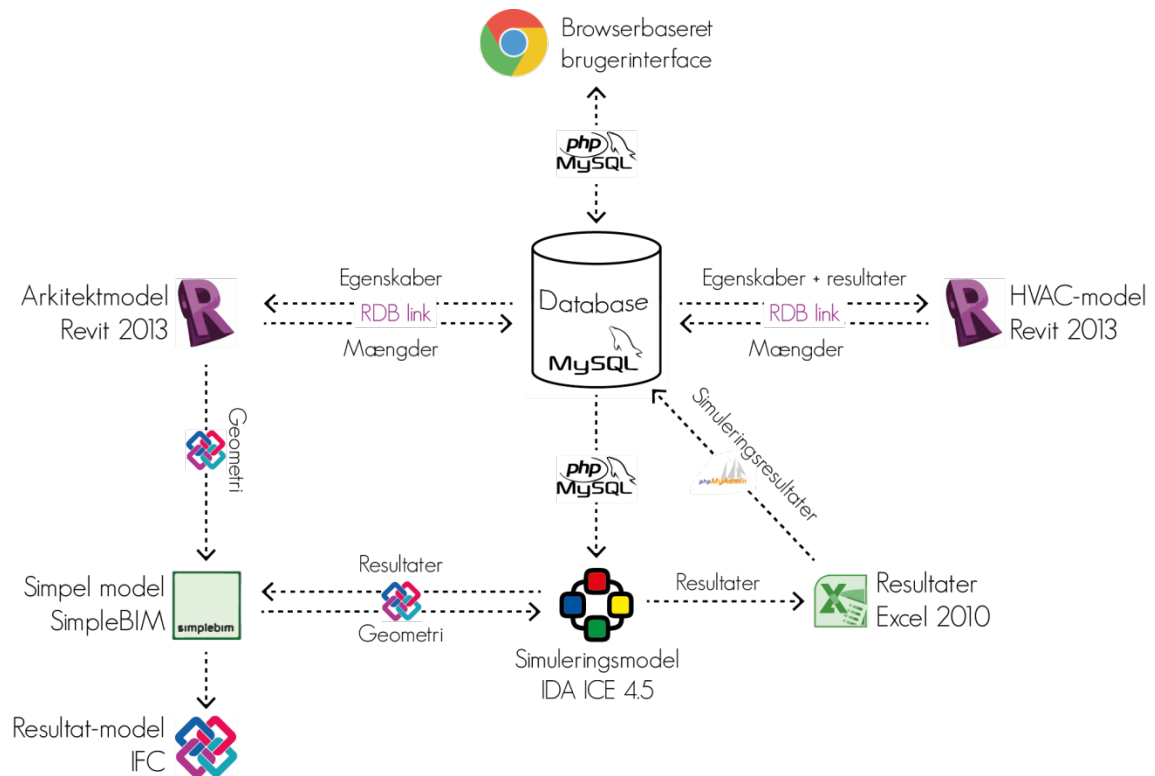
Der er kommunikative udfordringer forbundet med de geometrisk afhængige parametre, idet indarbejdelsen af de besluttede løsninger i modellerne kræver inddragelse af en anden part end beslutningstageren. Via brugerfladen for databaseløsningen bør der indarbejdes redskaber som styrker kommunikationen ved at underrette de personer, som står for implementeringen i modellen, når en designbeslutning er truffet.

Et eksempel på et kommunikationsforløb med behov for synkronisering fra en fagmodel til den centrale database er udformningen af en vægtype. Som udgangspunkt modelleres en udefineret vægtype af arkitekten for at skabe de overordnede rammer for bygningen. På dette tidspunkt er der muligvis taget stilling til nogle vægtyper ud fra æstetiske betragtninger af materialer og deres stofflighed. Med udgangspunkt i den foreløbige bygning og ønsker til konstruktionsprincip, bestemmer konstruktionsingeniøren behov til bæreevne, som udmunder i en konstruktionstykkel på den bærende del, og energiingeniøren bestemmer kravet til den isolerende del. Via brugerfladen fastsættes kravet til isoleringstykkel af energiingeniøren og de bærende vægges tykkelse af konstruktionsingeniøren. Efterfølgende kan arkitekten sammensætte væggen og indarbejder den valgte løsning i modellen. Konstruktionsingeniøren og energiingeniøren får i webinterfacet en godkendelse af den enkelte designparameter samt en dokumentation i form af en detaljetejning fra modellen. I denne forbindelse kan dokumenterede egenskaber for væggen, som bæreevne og varmeisoleringssevne, synkroniseres fra databasen til modellen. Ved synkronisering til modellen skal der i videst mulig omfang benyttes IFC properties, idet egenskaberne dermed vil være intakte når modellen eksporteres. I tilfælde hvor der er behov for at benytte egenskaber, som ikke er defineret i IFC, bør egenskabsdata besluttet af Cuneco benyttes.

#### 4.4.1 Implementering i software

Inden udarbejdelsen af den foreslåede databaseorienterede løsning kunne påbegyndes, var det nødvendigt at undersøge hvilken samlet infrastruktur, der bør etableres for at give bedre rammer for HVAC-ingeniørens arbejde.

Udvekslingen af informationer kan grundlæggende ske ved enten at udveksle hele eller dele af en model gennem åbne formater som IFC og gbXML eller ved udtræk af egenskaber eller mængder direkte fra modelleringsprogrammet. I Revit kan tabeller eksporteres som txt-filer og importeres i Excel eller lignende. Herudover er der mulighed for via ODBC at eksportere hele databasen til en ekstern database. Den åbne API betyder desuden at tredjepartsprogrammer, kan håndtere tovejssynkronisering af data til og fra Revit. For Autodesk's subscriptionskunder tilbydes værktøjet Revit DB Link, som muliggør en tovejssynkronisering mellem Revit og en ekstern database. Dermed er det i muligt at definere egenskaber for konkrete objekter og rum eksternt og derefter synkronisere dem til modellen.



Figur 4-12: Interaktionsdiagram over infrastruktur imellem de valgte software-løsninger.

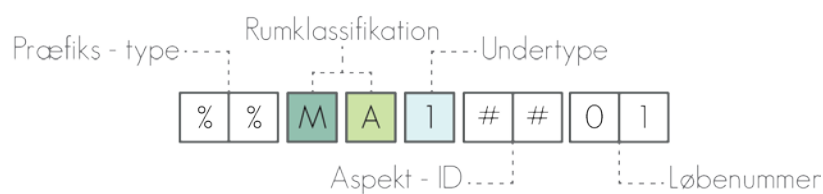
I Figur 4-12 er den overordnede infrastruktur imellem de valgte softwareløsninger illustreret. Der blev lagt vægt på at vælge programmer, der i høj grad understøttede udveksling med andre programmer.

I termiske simuleringer importeres geometri typisk via det simple gbXML-format, hvor modellen forsimples til en tyndvægget repræsentation. Nogle få programmer tilbyder dog også import af IFC. I det finske udviklingsprojekt COBIM foreslås det at benytte programmer, som er valideret af Nordic Energy (Laine, Bäckström, & Järvinen, 2012) (Hietanen, 2011). Dermed sikres det, at programmet håndterer korrekt import af IFC. Finske Riuska og svenske IDA ICE opfylder begge kravene, men da der på DTU undervises i sidstnævnte, blev dette valgt. IDA ICE beregningskernen er den samme, som benyttes i VEL-UX Energy and Indoor Climate Visualizer, og udover at være kompatibel med IFC, er programmet valideret iht. EN 15255, EN 15265 og ISO 13791.

På studiets tidspunkt arbejdede finske Datacubist på at forbedre håndteringen af et IFC-udvekslingsforløb til termisk simulering gennem programmet SimpleBIM. SimpleBIM er en IFC-viewer med mulighed for at tilrette objekter, som er navngivet forkert samt at skrælle unødvendige objekter fra. Dermed kan modellen målrettes den proces, den er møntet på, og risikoen for fejl kan reduceres. Gennem et *beta-addon* blev der desuden givet mulighed for at flette simuleringresultater fra IDA ICE sammen med den oprindelige IFC-model.

#### 4.4.2 Kodning

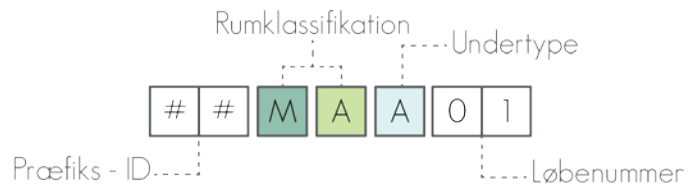
For at have en entydighed imellem hvilke rumkrav, der gjaldt de enkelte rum i IFC-filen, var det nødvendigt at benytte en kodestruktur, som kunne forstås af brugeren. Med inspiration i Cunecos foreløbige kodningsstruktur, blev der fundet en løsning, som kunne dække dette behov. Den valgte løsning adskiller sig fra tilgangen i CCS, og dette er der to årsager til. Dels blev den fastlagt på et tidspunkt hvor Cuneco endnu ikke havde færdiggjort strukturen, og dels blev det fundet nødvendigt at indikere den specifikke rumtype direkte af rumnummeret. Der blev derfor benyttet en nummerering, som bestod i en sammenfatning af rumklasse og ID (Figur 4-13).



Figur 4-13: Kodning af rum – kombineret rumklasse og ID.

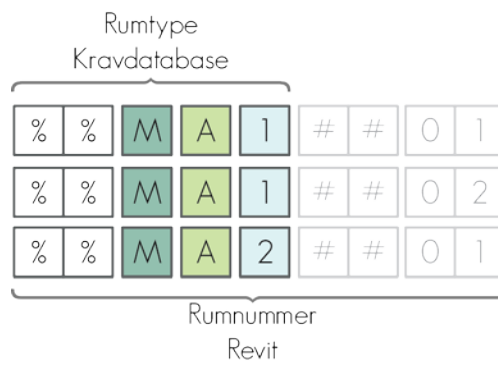
Et alternativ til den benyttede nummerering kunne have været at tilføje et ekstra betydende bogstav i rumklassifikationen, sådan at undertypen også kan aflæses af rumnummeret. Denne tilgang er illustreret i Figur 4-14.





Figur 4-14: Kodning af rum – supplerende bogstav i rumklassifikation.

Kodningsstrukturen gav mulighed for at validere modeller ved at holde løsninger op imod de i kravdatabasen definerede krav. Ved i Revit at kode rummene efter ovennævnte struktur kan mappingen til rumtyper defineret i en central database, ske ved at sammenholde den del af koden, som står før #.



Figur 4-15: Mapping mellem rumnummer og rumtype.



# 5 PRODUKTET

---

I foregående afsnit blev det fremlagt hvilke fordele, der ligger i at have en databaseorienteret tilgang, til lagring af krav og løsninger. I dette afsnit følger en beskrivelse af hvordan en sådan databaseløsning konkret kan udvikles. Der blev fokuseret på at skabe tilgængelighed gennem et brugervenligt brugerinterface med to indgangsvinkler til data lagret i en database.

Definition af designrammer

Udvikling af løsninger

I den valgte tilgang var ønsket at definere rumkrav på typeniveau i henhold til metoden illustreret i Figur 4-5. Tanken med denne tilgang var, at bygherre tager stilling til de rumtyper, som ønskes indeholdt i projektet, og herefter definerer specifikke funktionskrav, som de enkelte typer skal opfylde. Det er vigtigt, at det fra start er defineret, hvilke rumtyper, der skal være indeholdt i projektet, idet disse, af kommunikationsmæssige grunde, ikke bør ændres under projektførelsen.

## 5.1 Adgangshåndtering










En databaseorienteret løsning giver mulighed for at præsentere data med udgangspunkt i hvem, der skal se dem. For at facilitere dette, blev der arbejdet med, at de forskellige faggrupper blev opdelt i profiler.

---

<b>Projekt navn:</b>	<b>Roskilde Tekniske Skole</b>	<b>05.05.2013</b>
<b>Din profil:</b>	<b>Gæst</b>	<b>Initialer:</b> <input type="text"/> <b>Kode:</b> <input type="text"/>

---

**Profiler i projekt**

 Arkitekt	 Installationsingeniør	 Bygherrerådgiver
 Brandingeniør	 Bygherre	 Lysdesigner
 Konstruktionsingeniør	 Landskabsarkitekt	 Opret projektspecifik profil

---

Figur 5-1: Udsnit fra login-siden i brugerinterfacet

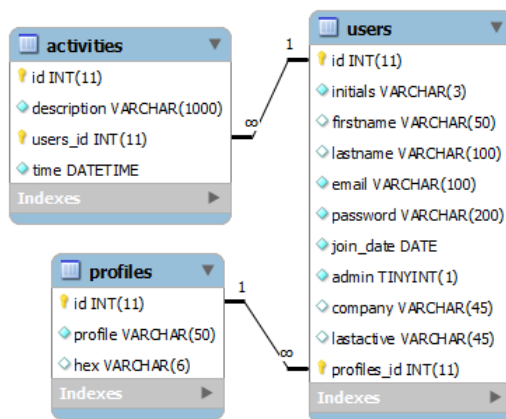
Profilen *bygherre* har mulighed for at angive krav til byggeriet, og det samme har profilen *bygherrerådgiver*. *Arkitekt* og *ingeniør* har ikke adgang til at ændre disse krav, men de kan frit tilgå dem, og tilmed er der mulighed for at benytte kravene direkte i beregninger og lignende.

**Videre udvikling**

Nogle løsninger angivet af én part er muligvis også relevante for de øvrige parter at kunne tilgå, og derfor bør denne udveksling gøres mulig. I den udviklede løsning blev der kun fokuseret på HVAC-ingeniørens behov, og derfor arbejdes der ikke med udvekslingen mellem rådgiverne. Ved en videre udvikling af løsningen er skal de juridiske ansvarsmæssige udfordringer belyse, der ligger i udvekslingen af oplysninger mellem forskellige virksomheder.

5.1.1 Databasestruktur

Der blev arbejdet med en databasestruktur, som håndterer registrering af brugere og tilknytning af en prædefineret profil. Ud fra de forskellige profiltyper styres adgangen til indhold på siden. Hver gang en bruger udfører en ændring i en tabel, registreres id'et på brugeren, således at ansvaret kan placeres. I et begrænset omfang blev der arbejdet med at logge aktiviteter i en tabel, hver gang en bruger foretager en ændring.



Figur 5-2: Struktur for den del af databasen som håndterer brugere.

I den udviklede løsning er det kun bygherre, der har mulighed for at oprette brugere. I princippet bør dette foregå ved at en invitation sendes til den pågældende person, som så selv opretter en bruger, men da denne funktionalitet ikke var et fokusområde blev dette forsimplet til at bygherre blot angiver alle oplysninger inklusive password.

## 5.2 Registrering af bygherrekrav

### 5.2.1 Brugerflade

Kunsten ved en god brugerflade er at sikre funktionalitet, samtidig med at tilgængeligheden og overblikket bevares. Med udgangspunkt i fagprofilernes opgaver kan brugerfladen indrettes sådan, at den filtrerer unødvendigt indhold fra. I den udviklede løsning blev der oprettet to indgangsvinkler til indholdet:

Bygherres kravspecifikation  
HVAC-ingeniørens løsning

For bygherres brugerflade lagdes i særlig grad lagt vægt på, at de krav, der defineres, ikke nødvendigvis kræver en dybdegående teknisk viden. Eksempelvis benævnes indeklimaklasserne: skærpet, normal og lempet i stedet for deres egentlige betegnelser: A, B og C. Desuden gives små beskrivelser ved mouse-over, som hjælper med at forstå, hvad indholdet dækker over.

#### Krav på bygningsniveau

På det overordnede niveau defineres de forhold, som for HVAC-ingeniøren er vigtige. Dette gælder de forhold, som har indflydelse på hvor meget energi der må bruges, og i hvilket tidsrum bygningen ønskes benyttet. Når bygherre tager stilling til, om det er nybyggeri eller tilbygning, kontor eller bolig og energiklasse 2010, 2015 eller 2020, oplyses det tilladte energiforbrug i henhold til bygningsreglementet. Ved mouse-over gives en forklaring af, hvad forbruget dækker over. Det oplyses blandt andet, at de anvendte energifaktorer bevirker, at det oplyste forbrug afviger fra det reelle forbrug. Brugstiden defineres for en standarduge og inkluderer i aktuelle version ikke definering af feriedage.

---

**Overordnede forhold**

Projekt navn:	<input type="text" value="Roskilde Tekniske Skole"/>	Nybyggeri?:	<input type="text" value="Nej"/>	<b>Brugstid:</b> Hverdage: <input type="text" value="07"/> - <input type="text" value="17"/> Lørdage: <input type="text" value="00"/> - <input type="text" value="00"/> Søndage: <input type="text" value="00"/> - <input type="text" value="00"/> 2807 timer/år
Sag nr:	<input type="text" value="10001"/>	Kategori:	<input type="text" value="kontorer, skoler, institi"/>	
Bygherre:	<input type="text" value="Roskilde Tekniske Skole"/>	Energiklasse:	<input type="text" value="Bygningsklasse 2015"/>	
Sidst ændret 27.04.2013 af <input type="text" value="MHR"/>	Max. forbrug:	<b>41.3 kWh/m<sup>2</sup></b>	<input type="button" value="Opdater"/>	

---

Figur 5-3: Brugerinterface for definering af overordnede krav på bygningsniveau.

### Krav på rumtypeniveau

Hver rumtype præsenteres i en række, hvor de overordnede krav fremgår. Når et krav ændres, opdateres databasen automatisk. Der blev benyttet en tilgang hvor datagrundlaget overskrives ved ændringer, og derfor er der ingen fortrydelsesmuligheder.

Kode	Rumtype	Areal	Antal	Ændret	Initialer	
▶ %%AB01	Opholdszone	171.00 m <sup>2</sup>	1	01.05.2013	MHR	✘
▼ %%AB02	Opholdszone	105.00 m <sup>2</sup>	1	01.05.2013	MHR	✘

Indeklimaklasse: <input type="text" value="Normal"/>	Afgivelse: <input type="text" value="100 timer"/>	Resultat af angivelser:																														
Forureningsklasse: <input type="text" value="God"/>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Parameter</th> <th>Min</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vintertemperatur [°C]</td> <td>21</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Sommertemperatur [°C]</td> <td>24.5</td> <td>27.5</td> </tr> <tr> <td>CO2-koncentration [ppm]</td> <td></td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>Belysningsstyrke [lux]</td> <td>200</td> <td>10000</td> </tr> <tr> <td>Relativ luftfugtighed [%]</td> <td>25</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Ventilationsmængde [l/s]</td> <td>256</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tør varme fra personer [W/p]</td> <td></td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>Varme fra udstyr [W]</td> <td></td> <td>1080</td> </tr> <tr> <td>Varme fra belysning [W]</td> <td></td> <td>410</td> </tr> </tbody> </table>	Parameter	Min	Max	Vintertemperatur [°C]	21	25	Sommertemperatur [°C]	24.5	27.5	CO2-koncentration [ppm]		500	Belysningsstyrke [lux]	200	10000	Relativ luftfugtighed [%]	25	60	Ventilationsmængde [l/s]	256		Tør varme fra personer [W/p]		50	Varme fra udstyr [W]		1080	Varme fra belysning [W]		410
Parameter	Min	Max																														
Vintertemperatur [°C]	21	25																														
Sommertemperatur [°C]	24.5	27.5																														
CO2-koncentration [ppm]		500																														
Belysningsstyrke [lux]	200	10000																														
Relativ luftfugtighed [%]	25	60																														
Ventilationsmængde [l/s]	256																															
Tør varme fra personer [W/p]		50																														
Varme fra udstyr [W]		1080																														
Varme fra belysning [W]		410																														
Personer: <input type="text" value="26"/>	Køling?: <input type="text" value="Nej"/>	Kommentar: Multirum Skal kunne facilitere op 100 pers på én gang. Ophold ved undervisning max 1 time  Brugstid: Ophold ved undervisning max 1 time  Udstyr: Skærme mm.																														
Naturlig ventilation?: <input type="text" value="Nej"/>	Antal: <input type="text" value="1"/>																															
Udstyr: <input type="text" value="Projektor (laver)"/>	<input type="text" value="26"/>																															
<input type="text" value="Laptop [30 W]"/>																																
<input type="button" value="Tilføj udstyr"/>																																
Almenbelysning: <input type="text" value="LED"/>																																
Sidst ændret 03.05.2013 af <span style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px;">MHR</span>																																
<input type="button" value="Ny egenskab"/>																																

Figur 5-4: Brugerinterface for definering af designrammer.

Klikkes der på pilen i venstre side, gives der adgang til angivelse af de fagspecifikke krav for rumtypen. I den udviklede løsning blev der kun arbejdet med de bygherrekrav, som har relevans for HVAC-ingeniørens arbejde, men med en simpel fanestruktur som illustreret i Figur 5-5, kunne funktionaliteten udvides på et senere tidspunkt. I den videre udvikling kan der argumenteres for, at personer og udstyr skal defineres under fanen *Generelt*.



Figur 5-5: Muligt layout af faner for veksling mellem vist indhold.

Krav til egenskaber angives enten i inputfelter eller via drop-down menuer. I tabellen til højre, i Figur 5-4, vises resultaterne af de angivelser, der er indtastet. Disse beregnes automatisk ved at angivelserne holdes op imod gældende normer, i henhold til tilgangen fra afsnit 4.2. Hvis det ønskes, kan bygherre overrule de beregnede værdier. Gøres dette, skifter baggrunden til hvid for at synliggøre ændringen. Hvis indholdet i feltet slettes, fremgår den beregnede værdi igen.

For det viste rum i Figur 5-4 er baggrundsfarven for felterne *afvigelse* og *personer* grå. Dette skyldes, at inputtet er baseret på standardangivelser. Afvigelse fra indeklimakravet sættes som standard til 100 timer, og personbelastningen er baseret på anbefalinger i EN 15251 (EN 15251, 2007). Bygherre har mulighed for at tilknytte forskellige udstyrstyper ud fra en prædefineret liste, som er lagret i databasen.

#### Videre udvikling

I den udviklede løsning er brugeren bundet til de parametre, der på forhånd er defineret. Ved en videre udvikling bør der gives mulighed for oprettelse af projektspecifikke parametre og definering af udstyr, som ikke er indeholdt i den prædefinerede liste.

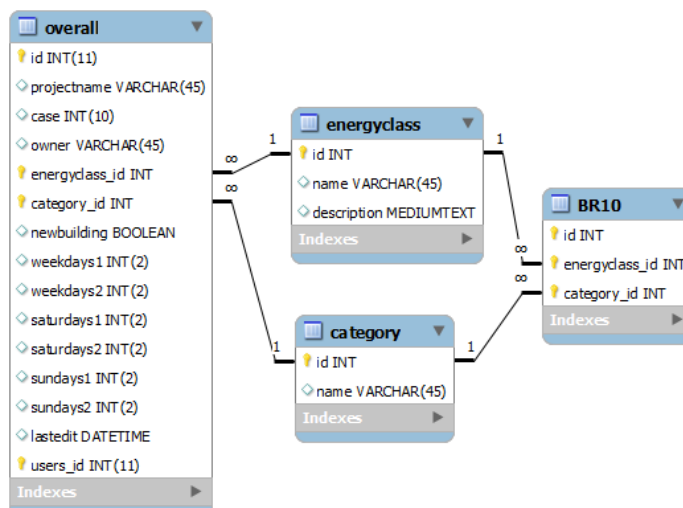
Customparametere defineres inden for det felt, de relaterer til, og hermed er det muligt at opstille en struktur, som sikrer at de kan tilgås af de relevante rådgivere.

For de enkelte rådgivere bør der stilles et beregningsværktøj til rådighed, som muliggør udførelse af personligt opstillede beregninger på baggrund af parametre defineret af bygherre. Når bygherre ændrer en af parametrene, som indgår i en beregning, skal de personer, der benytter denne som en variabel underrettes herom, inden beregningen opdateres. Dette skaber en åben og struktureret tilgang til de lagrede data, således at alle får størst muligt udbytte af dem.

## 5.2.2 Databasestruktur

På bygningsniveau blev benyttet en simpel databasestruktur, som er vist i Figur 5-6. Krav til energiforbrug afhænger af bygningskategori og energiklasse, og de mulige kategorier og klasser er lagret i dertil indrettede tabeller.

Udover krav til energiforbrug kan der af energirammen udledes specifikke krav til blandt andet specifikt elforbrug til lufttransport for ventilationssystemet og mindste isoleringsevne for konstruktioner. Særkravene kunne potentielt lagres i databasen for at tillade, at HVAC-ingeniøren tilgår dem fra sin brugerflade.



Figur 5-6: Struktur for den del af databasen som håndterer de overordnede bygherrekrav på bygningsniveau.

I databasestrukturen for håndtering af bygherrekrav til rumtyper oprettes en hovedtabel for rumtyperne (Tabel: rooms), som indeholder de, i projektet indeholdte rumtyper, samt de overordnede krav.

Udover de overordnede krav var strategien at oprette separate tabeller til krav, der relaterer sig til en særlig fagdisciplin. I tabellen *icparameters* er de indeklimatiske parametre defineret.

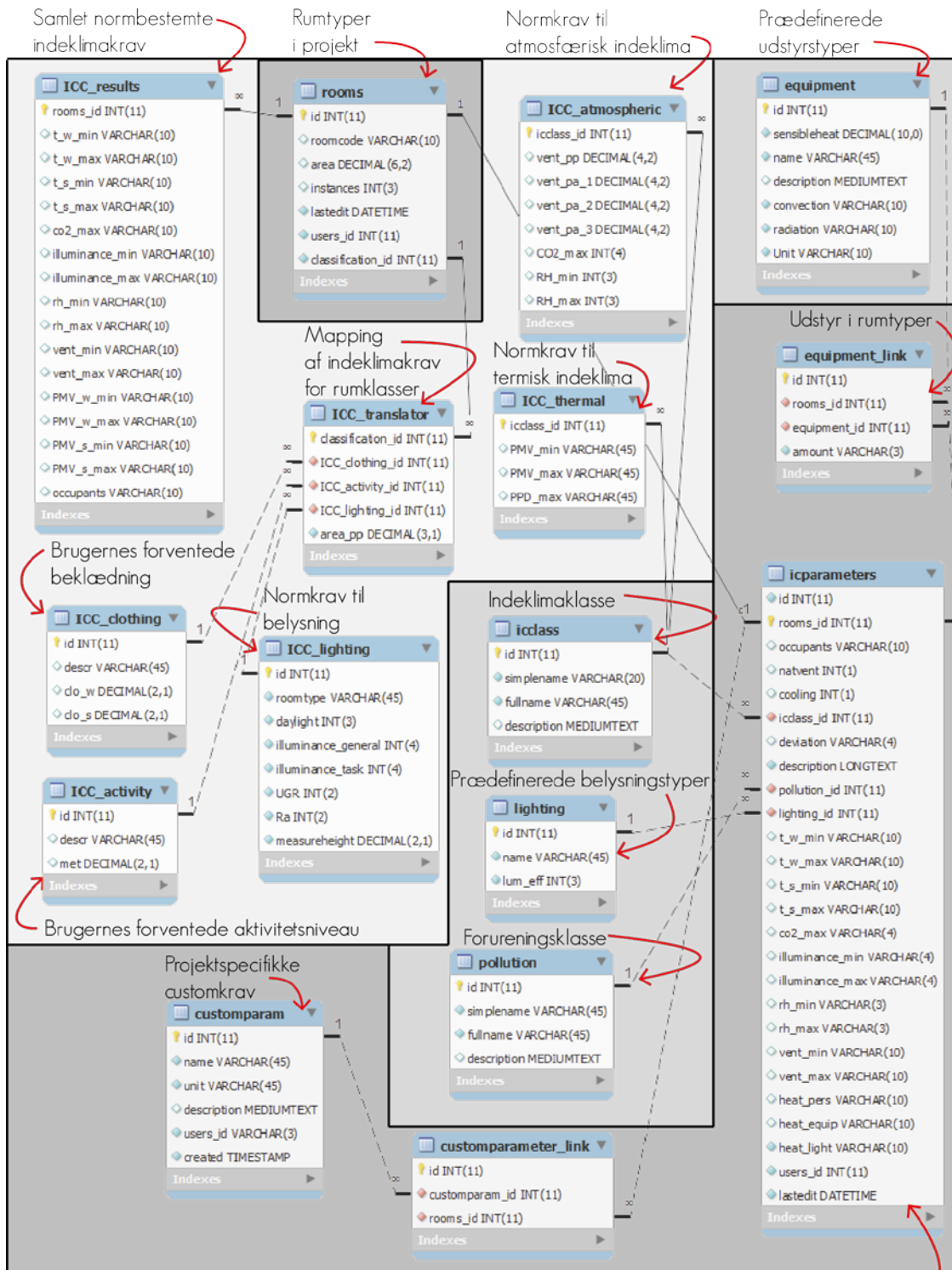
I diagrammet Figur 5-7 er strukturen for lagring og bestemmelse af krav, der relaterer sig til rumtyperne illustreret.

I tabellen *icparameters* kan bygherre definere mange af de samme parametre, som er indeholdt i *ICC\_results*. Dette skyldes, at det i denne tabel lagres, hvis bygherre ønsker at benytte en anden værdi end den, der er defineret i normerne. Som standard er felterne tomme, men når der defineres en værdi, vil denne overrule hvad, der er givet ud fra normerne. Denne funktionalitet styres gennem webinterfacet, som beskrevet ovenfor. Da også installationsingeniøren skal benytte de angivne værdier, er det generelle hierarki for hvilken værdi, der er gældende defineret som følger:

1. HVAC-ingeniørens angivelse
2. Bygherres angivelse
3. Anvisninger fra normer

Som udgangspunkt benyttes de udregnede værdier. Hvis bygherre beslutter at overrule disse, er det bygherres angivelse, der er gældende, og hvis HVAC-ingeniøren har behov for at overrule normen eller bygherrekravet, eksempelvis for at være på den sikre side, er det denne, der er gældende.





- Bygherres krav i brugerinterfacet
- Prædefinerede parametre, der vælges på listeform
- Normkrav, ikke påvirkelige

Generelle indeklimaparametre for rumtyper  
 Desuden customkrav til at overrule indeklimakrav baseret på normer

Figur 5-7: Struktur for den del af databasen som håndterer bygherrekrav for rumtyperne.

## 5.3 HVAC-løsninger på informationsniveau 2

### 5.3.1 Brugerflade

Der blev arbejdet hen imod en løsning, der faciliterer den informationsniveaumetode, som blev gennemgået i afsnit 0. Derfor skifter brugerfladen i henhold til hvilket niveau, der arbejdes på. Den udarbejdede løsning faciliterer kun niveau 2 og 3, men det komplette interface bør opbygges så forholdene i Bilag F kan bestemmes, lagres og kommunikeres.

Kode	Rumtype	Areal	Antal	Ændret	Initialer	q <sub>n</sub> [1/h]	
▶ %%AB01	Opholdszone	171.00 m <sup>2</sup>	1	01.05.2013	MHR	1.2	2.7
▶ %%AB02	Opholdszone	105.00 m <sup>2</sup>	1	01.05.2013	MHR	1.0	6.2
▶ %%AB03	Opholdszone	55.00 m <sup>2</sup>	10	01.05.2013	MHR	2.1	3.4
▶ %%BB01	WC	22.00 m <sup>2</sup>	6	02.05.2013	MHR	0.6	0.6
▶ %%CA01	Depot mm.	16.00 m <sup>2</sup>	3	02.05.2013	MHR	0.6	0.0
▶ %%CA02	Depot mm.	26.00 m <sup>2</sup>	1	02.05.2013	MHR	0.6	0.0
▶ %%DA01	Køkken	7.00 m <sup>2</sup>	1	03.05.2013	MHR		
▶ %%DA02	Køkken	7.00 m <sup>2</sup>	4	02.05.2013	MHR		

Figur 5-8: Brugerinterface - rumtypeoversigt for HVAC-ingeniører.

Rumtyperne præsenteres for HVAC-ingeniøren som illustreret i Figur 5-8. Oversigten adskiller sig fra bygherres, idet der ikke gives mulighed for at slette eller ændre en rumtype. Til gengæld vises minimums- og maksimumsluftskiftet i oversigten sådan, at der hurtigt kan dannes et overblik over rumbehovene og deraf den mest hensigtsmæssige styringsmetode (CAV/VAV). Hvis et maksimumluftskifte overstiger 6 gange i timen, som typisk bruges som indikator for, at der vil opstå trækgener, ændrer baggrunden farve til rød for at indikere, at der muligvis er et problem. For rum, hvor der endnu ikke er udført en beregning, er resultatkolonnen tom.

I beregningsinterfacet er resultatfelter, standardværdier og overførte værdier markeret med gråt. Resultatfelter kan overrules, og i dette tilfælde skifter baggrundsfarven, som det er illustreret for den interne varmebelastning fra belysning (Figur 5-9).

For at få adgang til bygherres angivelser, kan fanen *Indeklimakrav* rulles ud. Dette giver en oversigt sammen til den, der ses af bygherre, men uden mulighed for at ændre på indholdet.

Der blev i projektet kun arbejdet med bestemmelse af ventilations-, og kølebehov. Derfor var opgaven at estimere den interne varmebelastning, og der blev set bort fra transmissionstab gennem klimaskærmen.

▾ %%AB02    Opholdszone    ▾    105.00 m<sup>2</sup>    1    01.05.2013    MHR    1.0    3.7

▶ **Indeklimakrav**  
 ▾ **Beregning**

Solvarmetilskud		Intern belastning		Resultat	
Orientering	Øst/Vest ▾	Belysning	1000 W		
Hældning	90° ▾	Udstyr	180 W		
Isun	904 W	Personer	1300 W		
Måned	Juni	Sol	12109 W		
g-værdi	0.50	Total	14589 W		
fb	0.90				
fafsk	0.90				
fskyg	0.90				
fglas	0.70				
Vindue-%	50 %				
<b>Rumgeometri</b>		<b>Ventillationskoncept</b>		<b>Max luftbehov</b>	
Areal	105.00 m <sup>2</sup>	Fortrængning	▾	907.1 l/s	
Højde	8.5 m	Temp.ind	20.0 °C	<b>Internt varmetilskud</b>	
Volumen	893.0 m <sup>3</sup>	Temp.ud	33.3 °C	134.2 W/m <sup>2</sup>	
		K	0.5		
		Hsensor	1.1 m		
		CAV	▾		

Figur 5-9: Brugerinterface for overslagsberegning på informationsniveau 2.

### Bestemmelse af nødvendig volumenstrøm

Belysning, udstyr og personbelastning beregnes ud fra bygherres angivelser, imens solvarmetilskuddet kan estimeres med beregneren til venstre (Figur 5-8). Solvarmeberegneren er på informationsniveau 2 tænkt som et værktøj, som kan benyttes til at vurdere de påvirkninger forskellige vinduesløsninger vil have på en given rumtype. Ved vinduer i flere orienteringer, indtastes den mest kritiske.

Når varmetilskuddene summeres op, vides det hvor meget varme, der skal transporteres ud af rummene.

#### OBS!

Da beregningen ikke tager højde for parametre som brugsmønstre og bygningens termiske masse, er det den absolutte spidsbelastning der bestemmes.

Som beskrevet i afsnit 4.2.1 har ingeniørens valg af ventilationskoncept indflydelse på den nødvendige volumenstrøm, idet termisk lagdeling af luften udnyttes ved fortrængningsventilation. Overslagsberegningen giver derfor et overblik over hvad, der kan vindes ved at benytte fortrængningsventilation i et givent lokale, og kan på denne måde benyttes som et designredskab.

I bunden af listen over rumtyper opsummeres det samlede ventilationsbehov for hele bygningen.

#### Videre udvikling

Resultatkolonnen indeholder største og mindste luftskifte. Man kunne arbejde med at indholdet i denne kolonne gøres udskifteligt, sådan at eksempelvis det interne varmetilskud eller opvarmningsbehovet kan vises i stedet.

#### Videre udvikling

I henhold til metoderne beskrevet i afsnit 4.3.1 kunne det implementeres, at der defineres lokal køling og naturlig ventilation, for derved at reducere det nødvendige termiske ventilationsbehov. For lokal køling gennem TABS skal køleeffekten kunne angives som en overfladetemperatur, og hvis gældende komfortkrav i forhold til fladetemperaturer, strålingsasymmetri, vertikal lufttemperaturforskelle overskrides, skal HVAC-ingeniøren underrettes.

Solvarmetilskud fra vinduer i forskellige orienteringer topper på forskellige tidspunkter af døgnet og året, og derfor er det misvisende blot at addere spidsbelastningerne på ventilationssystemet ved bestemmelse af det samlede behov. I en videre udvikling kunne der tillades vinduer i flere orienteringer for hver rumtype. Dermed ville det samlede simultane solvarmetilskud kunne beregnes for rumtyperne såvel som for den samlede bygning. Denne udvidelse ville dog give mere mening ved beregning på rumniveau, idet rumtyper ikke nødvendigvis er orienteret ens.

### **Konstruktioner**

På HVAC-ingeniørens brugerflade gives der mulighed for at definere konstruktionstyper indeholdt i projektet. Oprettelsen af konstruktionstyper vil, som det blev beskrevet i afsnit 4.4, oftest ske fra arkitektens side, men da der i udviklingen kun blev fokuseret på HVAC-ingeniørens arbejde, blev det besluttet blot at lade oprettelsen ske fra denne brugerflade.

For HVAC-ingeniøren er materialelagenes termiske egenskaber de essentielle, og som det kan ses på Figur 5-10, er brugerfladen indrettet, at disse fremgår, når musen holdes over et materiale. Listen af materialer er baseret på udpluk fra Rockwool Energy's materialekartotek. U-værdi og vægtykkelse regnes automatisk baseret på materialelag og konstruktionstype.

### **Videre udvikling**

I den udviklede løsning var materialevalget begrænset til hvad der på forhånd var defineret i tabellen, men for at sikre alsidighed bør der i en fremtidig version gives mulighed for at HVAC-ingeniøren selv opretter materialer. Ved denne oprettelse er det nødvendigt at samtlige termiske egenskaber angives, idet disse dels benyttes til bestemmelse af U-værdi, og dels senere skal kunne tilgås for brug i termiske simuleringer.

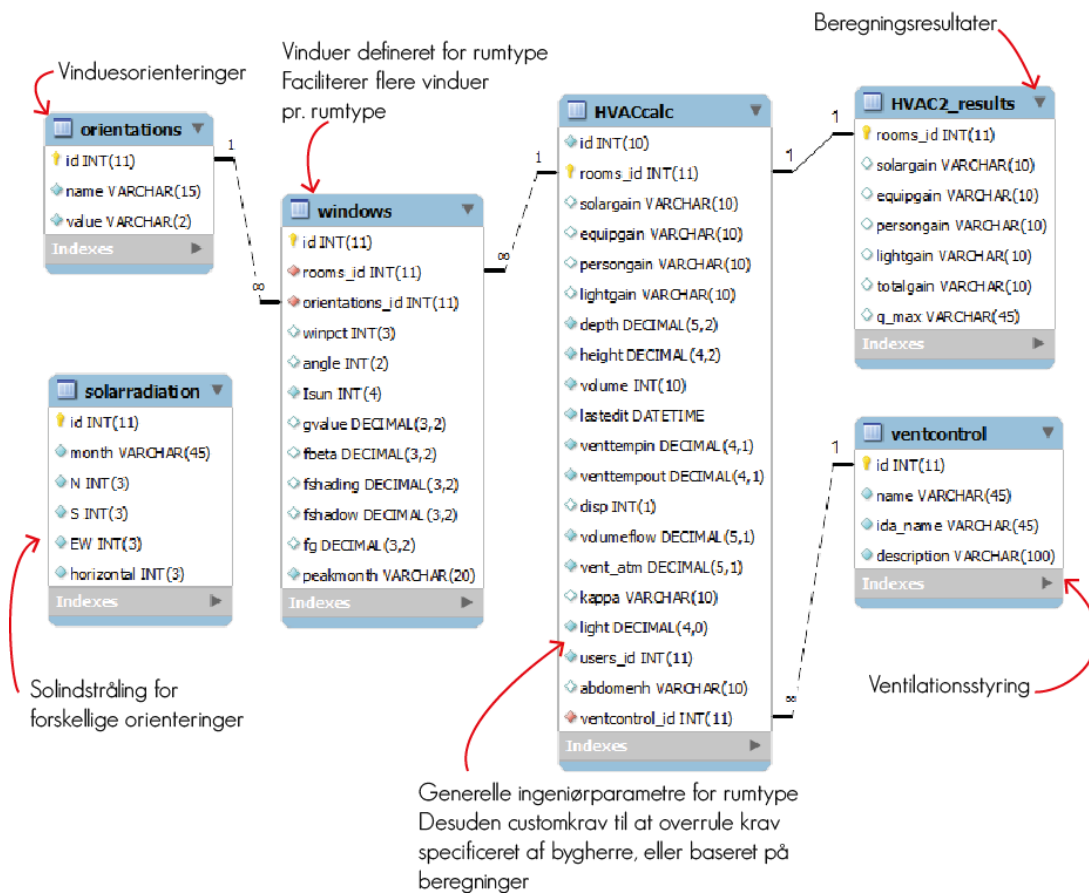
Kode	Konstruktionstype	U-værdi	Tykkelse	Ændret	Initialer
%DF01	Ydervæg	0.09 W/m² K	0.560	18.03.2013	RB

Materiale	Tykkelse	Kommentar:
Inde		
Armeret Beton (	0.200 m	Lag 1
Mineraluld 34	0.350 m	Lag 2
Armeret Beton (	0.010 m	Lag 3
Armeret Beton (1% stål) 2300 kg/m³ Armeret Beton (2% stål) 2400 kg/m³ Beton, høj densitet Densitet: 2300 kg/m³, Specifik varmekapacitet: 1000 J/(kgK), λ-værdi: 2.440 W/mK. Beton, medium densitet 2000 kg/m³ Beton, medium densitet 2200 kg/m³ Celleglas 40 Cementmørtel (50mm) Fiberplade 12 mm		
Tilføj materialelag		Opdater

Figur 5-10: Brugerinterface for definering af konstruktionsopbygninger.

### 5.3.2 Databasestruktur

Tilgangen til databasestrukturen for konstruktioner var grundlæggende den samme som tidligere benyttet, og tabellernes indbyrdes relationer er som illustreret i Figur 5-11.



Figur 5-11: Databasestruktur for lagring og bestemmelse af designløsninger for HVAC-ingeniøren.

## 5.4 HVAC-løsninger på informationsniveau 3

I løsningsangivelsen på informationsniveau 3 blev var målet at etablere en struktur, som understøtter termisk simulering i et eksternt program. Hovedindsatsen gik på at få etableret et brugbart simuleringsgrundlag ud fra de definerede rammer, og en struktureret lagring af de genererede resultater.

### 5.4.1 Brugerflade

#### Overlagsberegning på rumniveau

På informationsniveau 2 blev overlagsberegninger udført på rumtypeniveau. Meget af den interne belastning kan defineres på typeniveau, men hvad angår eksempelvis varmetab og solindfald er rummets reelle geometri og orientering nødvendig. På informationsniveau 3 bør interfacet understøtte, at der laves en mere nuanceret beregning, men ud fra samme tilgang som på informationsniveau 2. Hvis der foreligger en model, kunne arealerne overføres fra denne, og om muligt kunne arealer og konstruktionstyper fra rummets klimaskærm også overføres. Der blev ikke arbejdet med at udvikle dette interface, idet fokus var rettet mod at etablere en infrastruktur for generering af resultater fra en termisk simulering i et eksternt program.

For at illustrere mulighederne ved sammenholdelse af data fra modellen og den centrale database blev der udviklet en grafisk præsentation af Revit-modellens arealer sammenlignet med arealerne defineret i kravene (

Figur 5-12). Med kodningsstrukturen præsenteret i afsnit 4.4.2 var det muligt at generere denne sammenligning gennem en automatisk mapping. På rumtypeniveau gives en oversigt, hvor det samlede areal og antal, af en given rumtype sammenholdes med hvad, der reelt er modelleret. Ved at klikke på pilene i venstre side foldes indhold ud, og sammenligninger på rumniveau præsenteres.

Kode	Antal - program/reelt	Areal - program/reelt	Afvigelse
▶ %%AB01	1	171 m <sup>2</sup>	172 m <sup>2</sup> 0.6 %
▶ %%AB02	1	105 m <sup>2</sup>	105 m <sup>2</sup> 0 %
▶ %%AB03	10	550 m <sup>2</sup>	546 m <sup>2</sup> 0.7 %
▼ %%BB01	6	132 m <sup>2</sup>	131 m <sup>2</sup> 0.8 %
%%BB01##1	Toilet	22.00 m <sup>2</sup>	25.6 m <sup>2</sup> 14.1 %
%%BB01##2	Toilet	22.00 m <sup>2</sup>	14.1 m <sup>2</sup> 35.9 %
%%BB01##3	Toilet	22.00 m <sup>2</sup>	25.5 m <sup>2</sup> 13.7 %
%%BB01##4	Toilet	22.00 m <sup>2</sup>	14.1 m <sup>2</sup> 35.9 %
%%BB01##5	Toilet	22.00 m <sup>2</sup>	25.6 m <sup>2</sup> 14.1 %
%%BB01##6	Toilet	22.00 m <sup>2</sup>	25.7 m <sup>2</sup> 14.4 %
▶ %%DA01	1	18 m <sup>2</sup>	18 m <sup>2</sup> 0 %
▶ %%DA02	4	28 m <sup>2</sup>	30 m <sup>2</sup> 6.7 %

Figur 5-12: Sammenholdelse af antal og arealer mellem krav og model.

## Eksport til termisk simuleringsprogram

Tilgangen var, at HVAC-ingeniøren får mulighed for at oprette et datagrundlag baseret på angivelser i databasen. En sammenligning mellem det benyttede grundlag for simulering, og de aktuelle krav gøres på denne måde mulig på et senere stadie i projektet. Ud fra ændringernes omfang må det senere vurderes, om der bør oprettes en ny model, eller om simuleringsmodellen blot skal revideres iht. gældende krav.

### Generer input til bygningssimulering

Hent informationer fra informationsniveau 2 (Personer som angivet af bygherre)  
Hent informationer fra informationsniveau 2 (Personer som anvist i EN15251)

Output version  Ønsket filnavn:

Opret fil

Figur 5-13: Brugerinterface for eksport til IDA ICE.

Ved generering af datagrundlaget gives der to muligheder. Enten kan personbelastningen baseres på bygherres angivelser, eller også kan denne baseres på anbefalede værdier iht. (EN 15251, 2007). Sidstnævnte løsning er tiltænkt simuleringer på et tidligt stadie, hvor arkitektens model ikke er ruminddelt, men blot funktionsinddelt.

Brugeren har mulighed for at angive et ønsket filnavn, og ved klik på ”opret fil” oprettes en zip-fil indeholdende de filer, som er vist i Figur 5-14. Filen i roden med navnet filnavn.idm er den vigtigste af filerne. Her er skabelonerne for de forskellige rumtyper defineret, og det er den eneste fil der skrives data til. Ahu definerer aggregatet, og plant definerer varme-/køleanlægget. zone.idm er en fil, som indeholder definitioner for en zone, der som udgangspunkt er indeholdt i projektet. Denne er ikke vigtig, idet zonen overskrives ved import af arkitektens geometri-model.

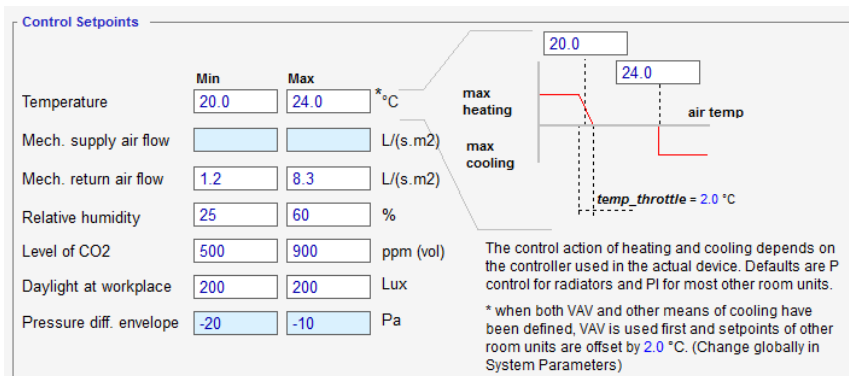
filnavn.idm	fil
filnavn	mappe
zone.idm	fil
ahu.idc	fil
ahu.idm	fil
plant.idc	fil
plant.idm	fil

Figur 5-14: Filer indeholdt i den genererede zip-fil.

### Videre udvikling

Sammenholdelse af et givent dataudtræk med den aktuelle tilstand af databasen blev ikke integreret, i den udviklede brugerflade. En integrering kunne ske ved at præsentere hele datagrundlaget i en overskuelig tabel med angivelse af de rum hvor, der er afvigelser ifht. aktuelle krav. Ved at præsentere datagrundlaget på en overskuelig måde, har HVAC-ingeniøren også bedre mulighed for at danne et overblik over randbetingelserne for simuleringen. Det kunne evt. tillades at nogle af værdierne fra udtrækket redigeres, inden de sendes til IDA ICE.

Genereringen af templatedefinitionerne i filen filnavn.idm sker ved at hente outputs af den ønskede version fra databasen og indsætte disse i templatefilens struktur. I det følgende er en kort gennemgang af, hvordan dette rent praktisk blev håndteret.



Figur 5-15: Definerede setpunkter vist i IDA ICE.

Figur 5-15 viser, hvordan setpunkter angives i IDA ICE, og Figur 5-16 viser kodestrukturen, som i IDA ICE benyttes ved definering af zone-templates. Efter sidste linje i koden gentages strukturen med den næste rumtype, og sådan fortsætter det indtil sidste rumtype på listen. Indsættelsen af outputs fra databasen var derfor mulig ved at generere en række løkker.

Det viste eksempel er automatisk genereret fra databasen, og kommentarerne markeret med grønt er indsat for at indikere hvor værdierne stammer fra. For uddybende beskrivelser, se bilag G.



```

((ZONE-DEFAULTS :N "%MA01" :T ZONE-DEFAULTS :D "Alm. Enkeltmandskontor ")
((SETPOINT_COLLECTION :N LOCAL_SETPOINTS)
(:PAR :N MIN_VENT_AIR :V 1.2) //Min for atmosfærisk komfort (EN15251)
(:PAR :N MAX_VENT_AIR :V 8.3) //Max 6 gange i timen (EN15251)
(:PAR :N THERMOSTAT_MIN :V 20.0) //Minimumstemperatur, vinter (EN15251)
(:PAR :N THERMOSTAT_MAX :V 24.0) //Makstemperatur, sommer (EN15251)
(:PAR :N DESIGN_MIN :V 19 :S (:DEFAULT NIL 2))
(:PAR :N DESIGN_MAX :V 30 :S (:DEFAULT NIL 2))
(:PAR :N MIN_HUMIDITY :V 25) //Gælder kun hvis der er befugtning (EN15251)
(:PAR :N MAX_HUMIDITY :V 60) //Gælder kun hvis der er affugtning (EN15251)
(:PAR :N MIN_CO2 :V 500) //IDA har std. udekonzentration på 100 ppm
(:PAR :N MAX_CO2 :V 900) //Normkrav + minimumskoncentration (EN15251)
(:PAR :N MIN_LIGHT :V 200) //Setpunkt for kunstlys (min almenbelysning)
(:PAR :N MAX_LIGHT :V 200)) //Setpunkt for hvornår kunstlys slukkes
(AGGREGATE :N CENTRAL-AHU)
(:PAR :N SYSTEM_TYPE :V CAV) //Ventilationsstyring (for CAV defineres luft
(:PAR :N CAV_VENT_AIR :V 1.2) //frem-retur, og ovenstående krav ignoreres)
(:PAR :N CAV_VENT_SUP :V 1.2)) //Som std. overføres minimumsluftskeft
(:TRES :N WINDOWS :V WINDOW)
(AGGREGATE :N OCCUPANT)
(:PAR :N NUMBER_OF :V 0.07) //Antal personer divideret med programareal
(:TRES :N LOAD_TYPE :V "Stillesiddende arbejde") //Brugstype
(:RES :N SCHEDULE_0-1 :V "Kontorarbejde/Undervisning") //Brugsmønster
//Typer og schedules defineres højere oppe i koden
(AGGREGATE :N EQUIPMENT)
(:RES :N SCHEDULE_0-1 :V "Kontorarbejde/Undervisning") //Brugsmønster
(AGGREGATE :N LIGHT)
(:PAR :N NUMBER_OF :V 1) //1 pr. m2
//Der vælges 1 pr. m2, idet varmetilskuddet i "Almenbelysning-LED gives i W/m2
(:TRES :N LOAD_TYPE :V "Almenbelysning - LED") //Belysningstype
(:RES :N SCHEDULE_0-1 :V "Brugstid 100%") //Brugsmønster
(:PAR :N COOLING-POWER :V 0) //Køling ej tilladt
(:PAR :N HEATING-POWER :V 999)) //Ideal heaterFigur

```

5-16: Struktur af zone-templates, når denne åbnes i en notesblok. Området markeret med røde parenteser viser den del af koden der definerer setpunkter. Farvemarkeringer og kommentarer er indsat for at fremme af forståelsen.

PHP indeholder en funktion til at skrive data til en fil, og denne blev udnyttet til at generere template-filen. Først i koden oprettes filen, og denne navngives efter, hvad brugeren har indtastet i input-feltet (Figur 5-13). Ved generering af template-filen var tilgangen overordnet, at der skiftevis blev genereret data og skrevet til filen for til sidst at lukke filen igen, pakke den til en zip-fil med de øvrige filer (Figur 5-14), og slette de midlertidige filer.

Figur 5-17 illustrerer, hvordan informationer fra databasen blev flettet ind i den overordnede struktur. Den viste kode indgår i den overordnede løkke, som definerer alle zonerne. \$row[" "] er et array med outputs fra databasen. \$row["roomcode"] henter eksempelvis rumkoden for den pågældende rumtype. Alt data indeholdt i variabelen \$stringData skrives til slut til filen. Herefter genereres næste bid kode som skrives til filen osv.

Den samme tilgang er benyttet i overførselen af materialer, konstruktioner, udstyrstyper, brugerprofiler osv. Hele mappingen findes i Bilag G. Brugen af den genererede fil gennemgås i afsnit 6.3.2.

```

<?php
//Streng med data genereres
$stringData = '
((ZONE-DEFAULTS :N "'. $row["roomcode"].'" :T ZONE-DEFAULTS :D
"' . $row["description"].'" )
((SETPOINT_COLLECTION :N LOCAL_SETPOINTS)
(:PAR :N MIN_VENT_AIR :V ' . $row["vent_min"].' )
(:PAR :N MAX_VENT_AIR :V ' . $row["vent_max"].' )
(:PAR :N THERMOSTAT_MIN :V ' . $row["t_min"].' )
(:PAR :N THERMOSTAT_MAX :V ' . $row["t_max"].' )
(:PAR :N DESIGN_MIN :V 19 :S (:DEFAULT NIL 2))
(:PAR :N DESIGN_MAX :V 30 :S (:DEFAULT NIL 2))
(:PAR :N MIN_HUMIDITY :V ' . $row["rh_min"].' )
(:PAR :N MAX_HUMIDITY :V ' . $row["rh_max"].' )
(:PAR :N MIN_CO2 :V ' . $row["co2_min"].' )
(:PAR :N MAX_CO2 :V ' . $row["co2_max"].' )
(:PAR :N MIN_LIGHT :V ' . $row["light_min"].' )
(:PAR :N MAX_LIGHT :V ' . $row["light_max"].' )
((AGGREGATE :N CENTRAL-AHU)');

//Data skrives til filen
fwrite($fh, $stringData); //fh er filen der skrives til, og stringData er det gene-
rerede indhold
?>

```

Figur 5-17: Udpluk af hvordan zoner defineres ved at flette udtræk fra databasen ind i kodestrukturen. Det viste stykke kode genererer den del af koden der håndterer setpunkter.

### Lagring af termisk simulering

Lagring af resultater fra termiske simuleringer håndteres ved, at uploade csv-filer, indeholdende resultaterne fra IDA ICE, fra brugerinterfacet. Metoden kræver at indholdet struktureres korrekt, men processen er delvist automatiseret, idet det fra IDA ICE 4.5 er muligt at eksportere resultaterne til en Excel-fil, hvor indholdet er opdelt i *Summary*, *Heating design*, og *Cooling design*. Når blot indholdet klippes ud som illustreret i Figur 5-19 og gemmes i separat csv-fil, foregår mappingen til de korrekte tabeller og kolonner i databasen automatisk.

#### Hent resultater fra bygningssimulering

Resultater uploades som csv-filer

Figur 5-18: Brugerinterface for upload af resultater til databasen.

34 Heating design																
Room	Group	Room multiple	Heat supplied, W	Room heat, W	Window heat loss, W	Encl. surf heat loss, W	Vent. heat loss, W	Temp., DegC	Op temp, DegC	Sup airflow, l/s	Sup airtemp, DegC	Ret airflow, l/s	Other sup airflow, l/s	Other sup airtemp, DegC	Rel hum, %	PPD, %
36	%%MA01# Cellekont	1	517.3	2687	274.9	244.7	2170	20	20.81	152.7	18.99	-152.2	52.71	-11.08	9.75	
37	%%AB02# Multirum	1	6877	25260	6312	571.1	18386	20	22.61	252.6	18.99	-251.8	9397	18.41	9.7	
38	%%AB01# Personale	1	1258	6925	800.9	454.4	5644	20	20.87	293.8	18.99	-292.8	141.2	-10.97	9.79	
39	%%HA01# Møderum	1	348.7	1340	213	136.6	991.3	20	20.7	45.04	18.99	-44.89	24.88	-11.08	9.76	
40	%%MA05# Elevadmir	1	332.9	2144	153.3	182.8	1812	20	20.75	33.57	18.99	-33.45	1013	18.56	9.83	
41	%%MC01# Reception	1	310.2	3849	235.8	75.87	3540	20	21.06	52.46	18.99	-52.28	2220	18.71	9.7	
42	%%DA01# Køkken	1	8.115	405.5	0	6.46	395.5	20	20.38	48.87	18.99	-48.7	9.105	-10.68	9.96	
43	%%MB01# Printer	1	0	5.36E-18	0	-120.3	127	22.56		0	0	0	3.4	-8.362	10.13	
44	%%MA03# Udd. chef	1	662.3	2563	486	174.8	1893	20	20.88	219.5	18.99	-218.7	43.41	-10.97	9.79	
45	%%MA02# Pedel /de	1	425.2	1368	265.3	160.5	942.3	20	20.72	47	18.99	-46.84	23.52	-11.08	9.75	
46	%%PB01# VVS skakt	1	0	132.6	0	-103	237.2	14		0	0	0	7.765	-11.08	14.96	
47	%%PA01# El rum	1	0	23.78	0	-69.87	94.05	14		0	0	0	3.149	-10.38	16.39	
48	%%OC01# Trappe/ga	1	90.23	822.7	90.89	2.017	732.4	16		0	0	0	22.28	-11.08	12.87	
49	%%BB01# Toilet	1	0	194.2	0	-39.43	235.1	16		0	0	0	7.132	-11.08	13.15	
50	%%CA01# Rengøring	1	0	115.1	0	-55.54	171.8	14		0	0	0	5.626	-11.08	14.96	
51	%%DA02# Thekøkke	1	127.8	456.6	39.41	87.77	326.9	20	20.27	20.75	18.99	-20.67	900.5	19.72	9.92	
52	TOTAL		24093.89	84620.08	19488.28	3446.18	61566.37			2417.7		-2645.61	37147.17			

Figur 5-19: Markering af nødvendigt indhold i csv-fil for Heating design. Rækker med beskrivelser og sum skal ikke overføres.

Med indholdet lagret i databasen åbnes der for en række muligheder i forhold til validering, synkronisering og kommunikation af resultater.

### Videre udvikling

I den udviklede løsning erstatter nye resultater for et rum blot de eksisterende, men ved at give mulighed for at uploade flere resultater, skabes et datagrundlag, som kan bruges til at evaluere resultater dels mod bygherrekravene, men også mod hinanden. Ved at præsentere resultaterne grafisk, er der belæg for et nyttigt validerings- og kommunikationsredskab.

### Validering af termisk simulering

Ved simulering på en hel bygning, kan det være omstændigt at validere det opnåede resultat. Desuden er der risiko for, at nogle inputs overføres og indtastes forkert, og derfor er resultatet måske slet ikke retvisende. Ved at holde simuleringens resultater op imod de oprindelige rammer for simuleringen kan der dannes et overblik over, hvorvidt det ønskede resultat er opnået.

Figur 5-20 og Figur 5-21 viser brugerfladen for validering af resultater. Ved en generel validering af simuleringen (Figur 5-20), gives brugeren mulighed for at vælge, hvor stor en afvigelse, der kan tillades. Ved evaluering af resultater, markeres det med rød, hvis kravet ikke overholdes. Ved validering i forhold til opfyldelse af krav (Figur 5-21), bliver det blot markeret hvis kravet ikke er opfyldt.

### Valider resultater

Simuleringsprogram: IDA ICE 4.5  
 Validering af: Overslagsberegning/simul  
 Validering type: Cooling Design: Samlet int  
 Afvigelse: >20 %

Der er i projektet defineret 40 rum, og dette antal stemmer ikke ov

**Summary: 40 rum** (der er uploadet resultater fra 54 rum, som ikke  
**Heating design: 20 rum** (der er uploadet resultater fra 13 rum, som ikke er defineret i projektet)  
**Cooling Design: 40 rum** (der er uploadet resultater fra 54 rum, som ikke er defineret i projektet)

Rumkode	Qtotal [W]		Afvigelse
	Niveau 2 resultat	Simuleringsresultat	
%%AB01##1	7650	3304	57 %
%%AB02##1	14589	11261	23 %
%%AB03##1	3132	2975	

Figur 5-20: Brugerinterface for validering af resultater fra termisk simulering – validering af simulering.

### Valider resultater

Simuleringsprogram: IDA ICE 4.5  
 Validering af: Overholdelse af bygherrek  
 Validering type: Cooling Design: Maxtempe  
 Afvigelse: -

Der er i projektet defineret 40 rum, og dette antal stemmer ikke ov

**Summary: 40 rum** (der er uploadet resultater fra 54 rum, som ikke er defineret i projektet)  
**Heating design: 20 rum** (der er uploadet resultater fra 13 rum, som ikke er defineret i projektet)  
**Cooling Design: 40 rum** (der er uploadet resultater fra 54 rum, som ikke er defineret i projektet)

Rumkode	T <sub>o</sub> [°C]		Afvigelse
	Bygherrek	Simuleringsresultat	
%%AB01##1	26	25.4	
%%AB02##1	26	28.27	8 %
%%AB03##1	26	28.87	10 %

Figur 5-21: Brugerinterface for validering af resultater fra termisk simulering – validering ifht. krav.

### Overførsel af resultater

Der blev ikke arbejdet med at udvikle et brugerinterface for eksport af resultater til en BIM-model, men som det fremgår tidligere i afsnittet, blev en forbindelse etableret imellem en Revit-model og kravene angivet i databasen. I næste afsnit gennemgås det, hvordan denne forbindelse muliggør overførsel af resultater uden om det udviklede webinterface.

#### Videre udvikling

Brugerfladen for håndtering af gældende resultater opsættes sådan at det på rumbasis kan bestemmes hvilket resultat der skal benyttes. På informationsniveau 3 er det muligt, at der både forelægger resultater baseret på steady-state beregninger og simuleringer, og i dette tilfælde skal det være muligt at vælge hvilket resultat der ønskes markeret som gældende. Endvidere skal det kunne vælges at informationsniveau 2 er det gældende.

Dermed gives der mulighed for, at resultaterne kan bruges videre i designprocessen uden, at der nødvendigvis skal forelægge en termisk simulering af hvert enkelt rum.

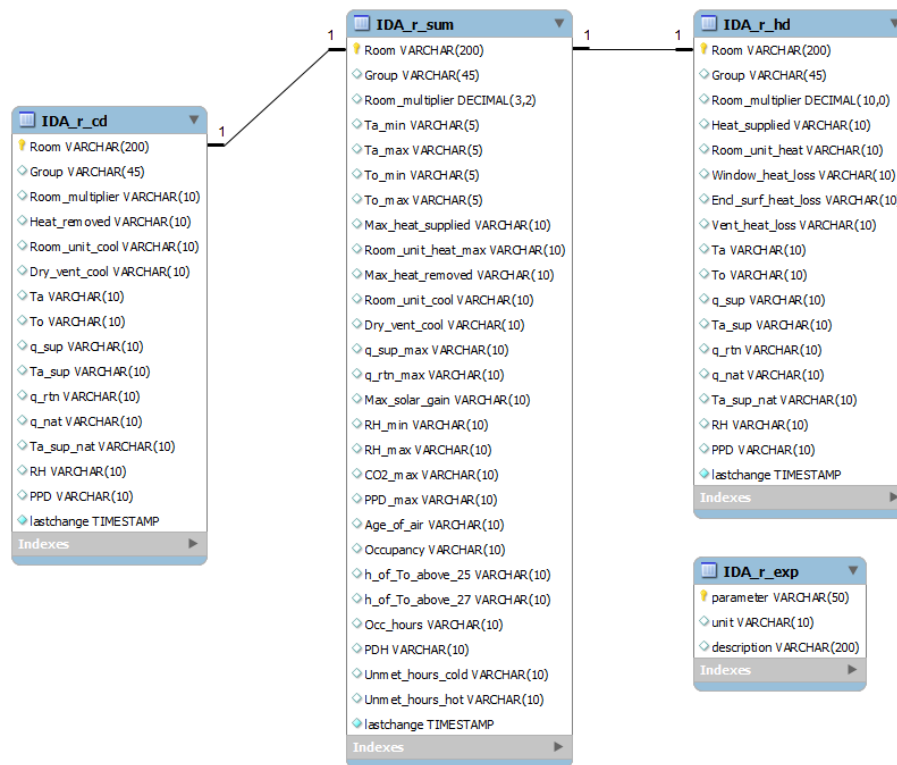
## 5.4.2 Databasestruktur

### Generering af inputs til IDA ICE

Ved generering af inputs til IDA ICE lagres de gældende krav til rummene i en tabel kaldet IDA, hvori de nødvendige data er defineret i de korrekte enheder. Hver gang at datagrundlag skrives til tabellen forhøjes kolonnen med versioner med 1.

### Lagring af resultater

Ved lagring af resultater fra IDA ICE overføres resultaterne til tre tabeller med samme kolonner og resultater, som var defineret i Excel-filen (*Summary, Heating Design, Cooling Design*). I den sidste tabel *IDA\_r\_exp* er betydningen af de forskellige resultater beskrevet, og enhederne er defineret



Figur 5-22: Databasestruktur for lagring af simuleringresultater.



# 6

## PRAKTISK ANVENDELSE

---



Som et led i udarbejdelsen af et strømnet BIM-workflow, blev produktet afprøvet på en konkret case udleveret af Michael Blom Søefeldt, Alectia. Byggeriet var en udvidelse af Roskilde Tekniske Skole, der blev udloddet som konkurrence i 2010. Projektets første af 4 etaper (4000 m<sup>2</sup>) var under projektskrivningen i udførelsesfasen. Ved afslutningen af 4. etape, skal det samlede bruttoareal tælle 17.000 m<sup>2</sup>.

Det udleverede materiale udarbejdet af Alecia og arkitektfirmaet Christensen & Co ses i Tabel 6-1. I en større prosatekst, beskriver konkurrenceprogrammet de tanker og ønsker, der var til bygningen og området. Byggeprogrammet var af mere teknisk karakter. Her blev alle krav til den nye bygning oplyst fra bygherre og dennes rådgivere. På den første side står der øverst i indholdsfortegnelsen:

*Endvidere er referater fra projekteringsmøder gældende i forbindelse med ændringer.* Dermed blev der stillet krav til, at læseren selv holder styr på samtlige referater fra møder, hvor der måtte være besluttet ændringer.

Denne tilgang til håndtering af ændringer og struktur af informationer er modstridende med den, der præsenteres i dette studie, og derfor blev der i det følgende afsnit arbejdet med at synliggøre de fordele der kan drages af en klarere struktur.

Arbejdet med det udleverede materiale blev brugt til at konkretisere og visualisere de tanker, der blev fremlagt under *En ny strategi* i afsnit 4 og fra beskrivelsen af *Produktet* i afsnit 5. Hovedfokus var at bruge materialet til at gennemgå arbejdsprocesser bundet til den udviklede tilgang (bilag F), og synliggøre de udfordringer og forudsætninger det medførte.

Tabel 6-1: Udleveret materiale.

	Format
<b>Bygherrekrav RTS</b>	
Konkurrenceprogram	pdf
Byggeprogram (revision A)	doc
<b>Rådgiveres materiale</b>	
Afgivet tilbud CCO & Alecia	pdf
Endelige modeller til udbud	rvt



## 6.1 Definerings af bygherrekrav

I det udleverede byggeprogram var der taget stilling til hvilke typer af rum, der ønskedes, samt hvilke krav, der skulle gælde for disse. Der var ikke taget stilling til, hvor store disse rum skulle være.

Under afsnit 8, '*Beskrivelse af rum*' i det udleverede byggeprogram, var det beskrevet, hvad kravene omhandlede. Blandt andet var det defineret, hvad rummene skulle klare af interne varmebelastninger fra personer og udstyr, samt andre rumspecifikke krav. Eksempelvis blev der stillet følgende krav til kontorer:

*Der skal være fast kontorplads til flg:*

*Uddannelseschef*

*To uddannelsesledere i fælles kontor*

*Skemalægger*

*Udviklingsleder*

*Tre medarbejdere i elevadministration*

*Tre studievejledere*

*En IT medarbejder*

*En pedel*

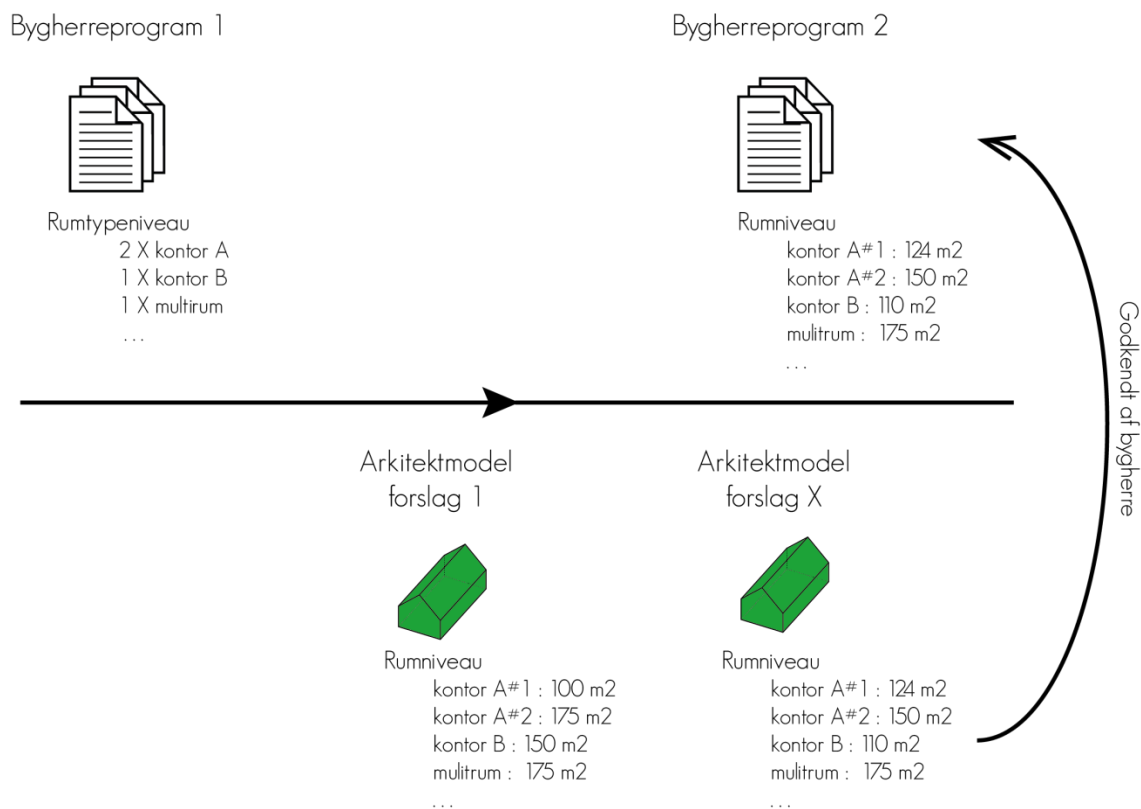
*IT medarbejder og pedel har arbejdsplads sammen med depot.*

*Hver af ovenstående personer skal have en arbejdsplads med fastopkoblet PC på A-net.*

I brancheundersøgelsen blev det af Marianne Thorbøll pointeret, at det i en sådan form for byggeprogram er vigtigt, at alle informationer fremstår struktureret og utvetydigt. I forbindelse med arbejdet med det udleverede materiale, opstod der en situation, som underbyggede denne pointe. Efter der var foretaget termiske simuleringer på baggrund af de indtastede krav fra byggeprogrammet, viste det sig, at der var et krav om, at synergizoner ikke skulle ventileres, hvilket der ellers var blevet arbejdet med, at de skulle.

Kravet til synergizonerne var ikke som de andre rum angivet under *beskrivelse af rum*, men stod for sig selv mellem afsnittene *Øvrige bygningsdele* og *Akustik*. En sådan utilsigtet fejl skyldes på den ene side, at byggeprogrammet ikke blev læst grundigt nok igennem. På den anden side kan der argumenteres for, at et sådan krav bør være beskrevet et mere hensigtsmæssigt sted.

Som beskrevet under afsnit 4 giver den udviklede løsning mulighed for, at byggeprogrammet er dynamisk. I praksis betyder det, at bygherre kan starte med at have indledende krav, som rådgiverne retter sig efter, og i takt med at alle bliver klogere på projektet, kan kravene ændres, se Figur 6-1.



Figur 6-1: Eksempel på forløb, der kunne udspille sig for byggeprogrammet.

### Mulige tilgange

Som i det udleverede bygherreprogram kan der indledningsvist specificeres krav på rumtypeniveau, uden at der tages stilling til arealer. Med dette udgangspunkt udarbejder arkitekten et designforslag, som over tid bliver præciseret. Er bygherre tilfreds med designforslaget, godkendes det, og fra dette tidspunkt fremstår det som et bygherrekrav.

For at kunne udføre overslagberegninger til ventilationsbehov, kræves det som minimum, at der foreligger et areal. I nogle tilfælde har bygherre fra start taget stilling til arealer for rumtyperne. Dette har den konsekvens, at arkitekten gives et mindre spillerum til at designe. I tilfældet med den udleverede case var det arkitektens opgave at definere arealer.

## 6.2 Forarbejde

For at kunne udføre en termisk simulering er det nødvendigt med et geometrisk grundlag. I henhold afsnit 4.4.1 var der behov for en model i formatet IFC.

Indledningsvis blev det forsøgt at udføre en simulering på baggrund af en forsimplet version af den udleverede arkitektmodel trimmet i programmet SimpleBIM. Revit-modellen blev forsøgt eksporteret gennem forskellige IFC-eksportere, men der var nogle grundlæggende modeltekniske komplikationer, som umuliggjorde en korrekt eksport. I granskningen af modellen viste det sig, at der var en række forhold, som vanskeliggjorde genereringen af en brugbar IFC-model. Problemerne var i et sådant omfang, at det blev vurderet, det ville tage uhensigtsmæssigt lang tid at rette op, hvorfor en ny forsimplet model blev bygget op fra bunden i Revit.

Nogle af problemerne, observeret i den endelige model, kunne have været undgået, hvis der fra start var blevet udlagt retningslinjer for, hvordan arkitekten skulle opbygge modellen. I det følgende beskrives nogle af hovedpunkterne i de problemer som blev observeret i forbindelse med at genere en IFC-fil og importen til IDA ICE.



Figur 6-2: Den udleverede model gav problemer ved importen til IDA ICE.

### Rumdefinitioner

I IDA ICE etableres zoner med udgangspunkt i de rum, der er defineret i modellen. Derfor er det vigtigt, at alle rum er defineret, og at disse udfylder hele volumen.

I arkitektens model var rummene ikke defineret til at gå fra gulv til dæk. Derimod var der specificeret forskellige højder for hvert rum, som så ud til at være mere eller mindre tilfældige. Dette antyder, at rummene kun har været benyttet til at definere arealer. Figur 6-3 viser et snit i den udleverede model, hvor de blå markeringer angiver rumafgrænsninger.

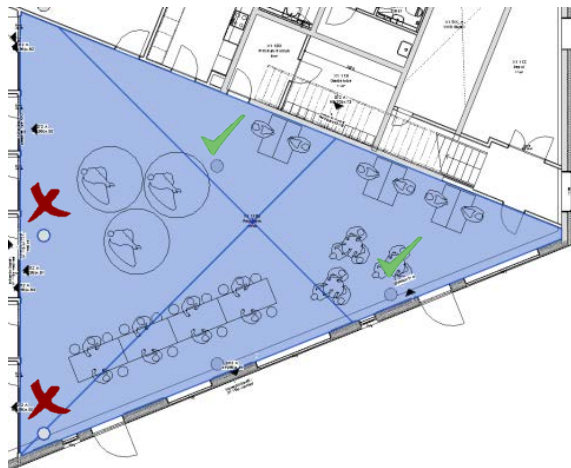


Figur 6-3: Snit der viser 3 forskellige defineringer af et rumvolumer

Af de fremhævede rum kan det i det første fra højre ses, at rumhøjden ikke er defineret til at gå fra gulv til næste dæk. Rummet i midten er sat til at gå fra gulv til næste etage, men afgrænses af det nedhængte loft, som er defineret som et rumafgrænsende element. Samme problematik opstod i rum med hævede gulve, som ligeledes var defineret som et rumafgrænsende element.

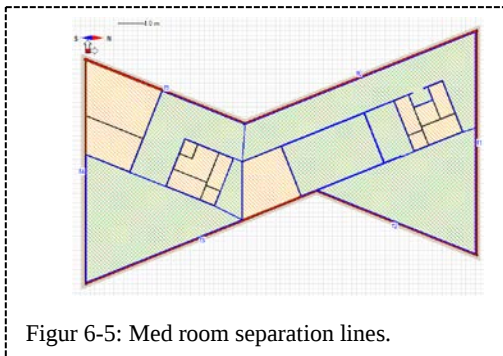
For at begrænse kompleksiteten af simuleringmodellen, skal søjler, der afgrænser rummet, sættes til ikke at være rumafgrænsende, dette illustreres i Figur 6-4.

Hvis disse forbehold tages, fås et korrekt defineret rum, som vil kunne bruges til termisk simulering (Laine, Bäckström, & Järvinen, 2012).

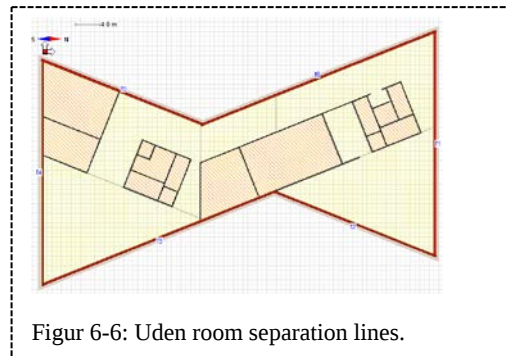


Figur 6-4: Definerings af søjlers rumafgrænsning

'Room separation lines' kan benyttes til at opdele et rum i flere zoner. Denne funktion er nødvendig at benytte hvis der optræder doughnut-rum, hvor rum er placeret inde i et andet rum uden at have forbindelse til ydervægge. Dette skyldes måden IDA ICE læser modellen på.



Figur 6-5: Med room separation lines.



Figur 6-6: Uden room separation lines.

Dobbelthøje rum deles i 2 etager, og vil derfor i IDA ICE fungere som 2 zoner med en åbning imellem.

### Curtain walls

IDA ICE understøtter ikke curtain walls. I den grafiske præsentation af IFC-modellen vises de, men de overføres ikke korrekt til zonerne. Desuden giver de problemer med, at IDA ICE ikke kan definere hele bygningens ydre geometri korrekt. Derfor blev de ikke taget med over i den simple model, og i stedet blev glasfacaden oprettet manuelt i IDA ICE som vinduer gående fra gulv til loft.

### Ydervægge

Modellerede ydervægge, der strækker sig over flere etager, skal ved IFC eksporten fra Revit opdeles per etage, idet der ellers er risiko for, at de volder problemer i IDA ICE. Det blev oplevet at vægge, der i Revit er modelleret i *sketch mode*, ikke eksporteres korrekt. Figur 6-2 viser, hvordan disse håndteres i IDA ICE. I SimpleBIM kunne der også observeres problemer, om end i et mere begrænset omfang (Figur 6-7), og det samme var tilfældet for ArchiCAD. I Solibri blev filen håndteret korrekt, hvilket kan skyldes, at Solibri korrigerer for fejlen, så den ikke ses.



Figur 6-7: Vægge, der strækker sig over flere etager. Markeret i simpleBIM

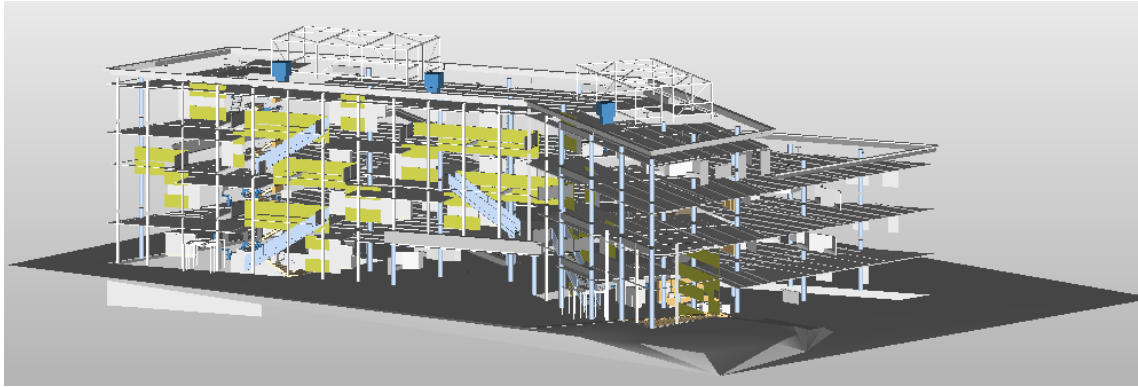
### Kodning

Kodningen af konstruktioner, vinduer og rum er essentiel for, at samspillet med den centrale database, samt mappingen i IDA ICE kan fungere. I modellen blev konstruktioner og rum kodet, så disse i IDA ICE kunne mappes med definitionerne i den centrale database. Den benyttede kodningsstruktur blev gennemgået i afsnit 4.4.2.

### Simple model

Samlet set foreslås det, at en arkitektmodel, der skal bruges til simuleringer, simplificeres i det omfang, det er hensigtsmæssigt. Dette bør gøres ud fra SimpleBIMs mantra om at unødige data skaber unødige problemer. I Figur 6-8 er det illustreret hvor mange elementer der kan skrælles fra en arkitektmodel, som skal benyttes til termiske simuleringer. De nødvendige elementer i en simuleringmodel er oplistet til højre.

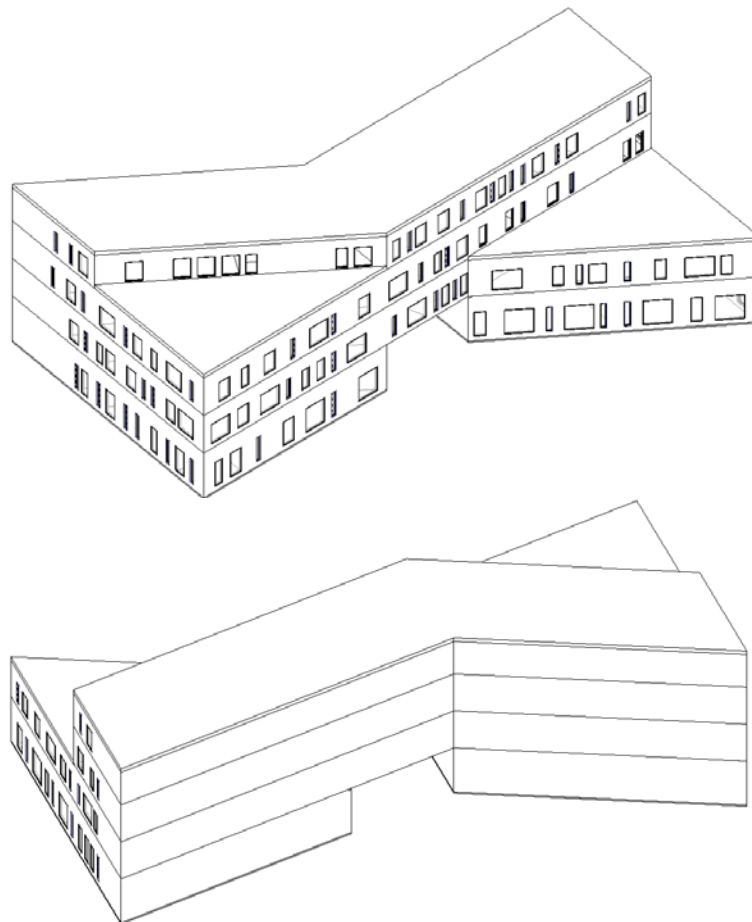
Vægge
Dæk
Tage
Vinduer / Døre
Zoner (Rooms)



Figur 6-8: I SimpleBIM kan modellen skrælles, så kun de nødvendige elementer beholdes. I den udleverede model var de illustrerede elementer unødvendige for termisk simulering.

### Etableret model

Den nye opbyggede model, der blev brugt, kom til at se ud som illustreret i Figur 6-9. Alle almindelige vinduer blev overført fra den oprindelige model, og hele glasfacaden blev undladt. Desuden er væggene modelleret, så de går fra etage til etage.



Figur 6-9: Opbygget Revit model, der bl.a. blev brugt til termisk simulering.

## 6.3 HVAC

Bestemmelse af det nødvendige ventilationsbehov kan ske ved overslagsberegninger eller termiske simuleringer. Det er implicit, at en termisk simulering vil være mere nøjagtig end en overslagsberegning, men termiske simuleringer kan også være ressourcekrævende at udføre.

Der lægges i den udviklede tilgang op til, at det er op til den enkelte at vurdere hvilket redskab, der er hensigtsmæssigt at benytte ud fra et givent grundlag. Dette kan betyde, at nogle rum forbliver beregnet overslagsmæssigt og andre simuleret i IDA ICE. Forudsætningen er blot, at informationsniveauet (Bilag F) er det samme.

### 6.3.1 Overslagsberegning ny tilgang til rumskema

I Figur 6-10 ses HVAC-ingeniørens bruger-interface i det udviklede program, hvor samtlige rumtyper blev oprettet.

I dette tilfælde blev glasprocenterne så vidt muligt indtastet ud fra de modellerede vinduer, som indgik i modellen. I andre henseender kan det ske, at der ikke er taget stilling til vinduesstørrelser. Her kan glasandelen for eksempel sættes til 10 % af det samlede gulvareal for at imødekomme bygningsreglementes vejledning til at sikre tilstrækkeligt med dagslys (Energistyrelsen, 2010).

Overslagsberegningen giver et indblik i, hvad systemerne skal kunne klare ved en spidsbelastning. Det vil dog være usandsynligt, at samtlige rum er fuldt belastede samtidig. Størrelsen af anlægget skal derfor fastsættes ud fra en afvejning af, hvad der forventes at være brug for for at kunne levere et termiske indeklima, der overholder kravene.

Kode	Rumtype	Areal	Antal	Ændret	Initiale	qn [1/h]
▶ NNAB01	Opholdszone	171.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	1.2 3.3
▶ NNAB02	Opholdszone	105.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	1 4.7
▶ NNAB03	Opholdszone	55.00 m <sup>2</sup>	10	12.03.2013	MHR	2.1 2.1
▶ NNBB01	WC	22.00 m <sup>2</sup>	5	12.03.2013	MHR	0 0.3
▶ NNCA01	Depot mm.	16.00 m <sup>2</sup>	3	12.03.2013	MHR	0 0
▶ NNCA02	Depot mm.	26.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	0 0
▶ NNDA01	Køkken	18.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	1.9 1.9
▶ NNDA02	Køkken	7.00 m <sup>2</sup>	4	12.03.2013	MHR	2.3 2.3
▶ NNEA01	Undervisningslokale	80.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	3.6 2.6
▶ NNEA02	Databar	176.00 m <sup>2</sup>	9	12.03.2013	MHR	2.1 5.9
▶ NNEA03	Databar	284.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	2.1 5
▶ NNEA04	Undervisningslokale	79.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	1.7 2.3
▶ NNEB01	Undervisningslokale	74.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	3.6 5.8
▶ NNHA01	Medielokale	23.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	1.4 7.4
▶ NNHA02	Medielokale	51.00 m <sup>2</sup>	5	12.03.2013	MHR	3.1 7.2
▶ NNMA01	Cellekontor	14.00 m <sup>2</sup>	4	12.03.2013	MHR	0.9 0.8
▶ NNMA02	Cellekontor	17.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	1.1 6.7
▶ NNMA03	Cellekontor	27.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	1.1 6.3
▶ NNMA04	Cellekontor	26.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	1.3 5.2
▶ NNMA05	Cellekontor	38.00 m <sup>2</sup>	2	27.03.2013	MHR	1 5
▶ NNMB01	Depot mm.	5.00 m <sup>2</sup>	2	12.03.2013	MHR	0 6.5
▶ NNMB02	Depot mm.	78.00 m <sup>2</sup>	2	12.03.2013	MHR	0 3.8
▶ NNMC01	Cellekontor	35.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	1.1 1.1
▶ NNNA01	Depot mm.	14.00 m <sup>2</sup>	3	12.03.2013	MHR	0 0
▶ NNOD01	Gangareal/cirkulati	109.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	0 3.8
▶ NNOD01	Gangareal/cirkulati	114.00 m <sup>2</sup>	5	12.03.2013	MHR	0 0.6
▶ NNOC01	Gangareal/cirkulati	283.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	0 3.1
▶ NNOC02	Gangareal/cirkulati	5.00 m <sup>2</sup>	4	12.03.2013	MHR	0 0.1
▶ NNPA01	Teinik	45.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	0 0
▶ NNPB01	Teinik	119.00 m <sup>2</sup>	1	12.03.2013	MHR	0 0

Totalt programareal i projekt: 5163 m<sup>2</sup>  
Samlet ventilationsbehov: 23.555 m<sup>3</sup>/h

Figur 6-10:Oversigt over oprettede rum.



## 6.3.2 Termisk simulering

Som udgangspunkt stilles der fra bygherres side krav til, at det termiske indeklima overholder de opstillede krav. Oftest skal det eftervises på et par udvalgte kritiske rum. I det udleverede byggeprogram er kravene til dokumentation for det termiske indeklima som følger:

### *20.2.1 Dokumentation*

*Det skal eftervises, at kravene til termisk indeklima opfyldes så optimalt som det er muligt, dels ved målinger i det endelige byggeri, og dels ved termisk simulering f.eks. med nyeste version af BSim eller tilsvarende. Der simuleres min. 3 forskellige rum. Simuleringerne skal foreligge så tidligt i projektfasen, at det er muligt at tilpasse projektet så meget som økonomisk og praktisk muligt. Simuleringerne skal opdateres med projektets fremdrift senest i forbindelse med hovedprojektet.*

Udklip fra Byggeprogrammet

Som udklippet beskriver, er der fokus på, at det termiske indeklima skal være så optimalt som muligt. Dette skal sikres ved løbende at udføre simuleringer, der tidligt kan være med til at påvirke designet.

Med det workflow det udviklede program og den nye strategi faciliterer, gives der mulighed for, at en simulering på hele bygningen kan foretages.

I første omgang kan det virke som en overdrivelse, at skulle simulere på hele bygningen, da det ikke er et krav i henhold til byggeprogrammet. Når ventilationssystemet skal dimensioneres, er det i mange henseende tilstrækkeligt, at luftbehov for rummene baseres på erfaring eller overslagsberegninger. På den anden side vil termiske simuleringer give en bedre indsigt i bygningens performance. Herudover giver termiske simuleringer blandt andet en række indeklimatiske resultater, som kan bidrage til at påvirke designet i den rigtige retning. Når der samtidig er udarbejdet et værktøj, der kan eliminere væsentlige dele af indtastningsarbejdet samt remodellering af geometrimodellen, så er den ekstra arbejdsbyrde mindsket betydeligt.

En termisk simulering tager højde for blandt andet termisk masse og dermed kan det formodes at de nødvendige ventilationsmængder kan trimmes, på en mere sikker baggrund end hvis det var på erfaring og overslag.

Herudover vil det være muligt at undersøge potentialet i forskellige ventilationsstrategier, eksempelvis effekten af zoners indbyrdes interaktion ved indblæsning i den ene zone og udsugning i den anden. Desuden er en termisk simulering en nødvendighed ved beregning af reelt energiforbrug for større bygninger, hvor køle- og ventilationsforbruget udgør en stor andel af det samlede forbrug.

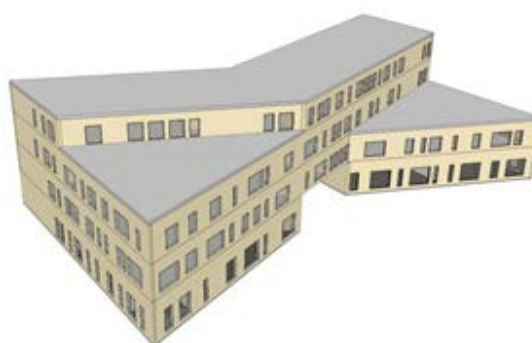
## 6.4 Termisk simulering

### 6.4.1 Etablering af simuleringsmodel

Med udgangspunkt i den simple model, der blev opbygget i Revit, var grundlaget for en termisk simulering skabt.

Fra webinterfacet blev et datagrundlag genereret med udgangspunkt i bygherres krav, specifikationer fra normer og reglementer samt indledende steady-state. Det konkrete indhold i templatet gennemgås i bilag G.

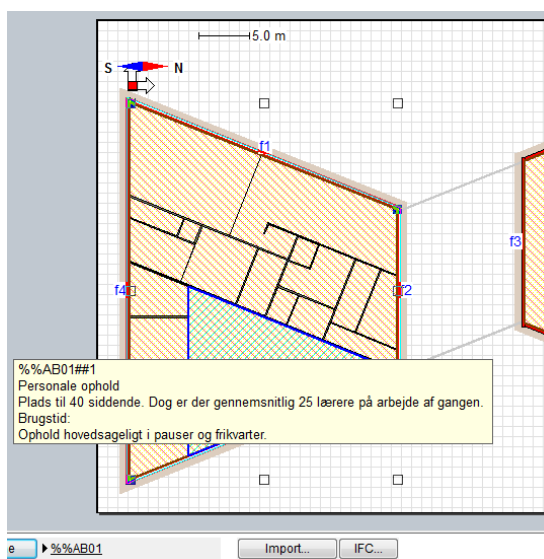
Den genererede template-fil blev åbnet i IDA ICE, og herfra blev modellen importeret via den indbyggede IFC-importer. Ved import af IFC-filer til IDA ICE er det vigtigt, at zone-navne angives som *ifcName*, grupperes som *ifcLongname* og at der for beskrivelse vælges *ifcDescription*. Dette er forudsætningen for, at modellens rum kan mappes til kravene defineret i template-filen. Når filen er loadet, skulle der gerne fremtræde en mouse-over-meddelelse for hvert enkelt rum, med koderne fra Revit, som bruges til mappingen.



Figur 6-11: IFC-model importeret til IDA ICE.

#### Mapping af zoner

Når der genereres zoner, vælges de fra listen over rumtyper, som blev indhentet med template-filen, og defineres for de respektive rum fra IFC-modellen. I Figur 6-12 ses en defineret zone, hvor kode for rumtypen (*ifcName*) og kommentarfeltet fra bygherres kravangivelse fra webinterfacet indgår. Hermed har zonen fået tilknyttet alle de korrekte setpunkter, brugsmønstre mm.



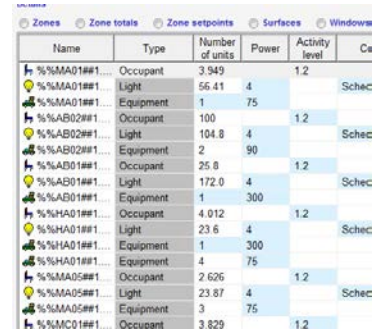
Figur 6-12: Mapping af zoner til importeret IFC-model.

## Mapping af konstruktioner

De definerede konstruktioner fra IFC-modellen mappes på samme måde op imod de fra databasen angivne definitioner. Her er det også muligt at mappe vinduer og åbninger, men denne funktion var ikke understøttet i den udarbejdede løsning, idet definition af vinduestyper ikke blev indarbejdet i webinterfacet. Derfor blev der i dette tilfælde valgt ét vindue, som blev sat til default.

## Udstyr og personer

Bygherre kan i webinterfacet specificere antal personer og antal af forskellige typer udstyr. I IDA ICE angives disse dog som et antal pr. m<sup>2</sup>, når en template defineres, og skal derfor omregnes ved genereringen af en template. Som udgangspunkt bliver personer og udstyr omregnet ved at dividere med rummenes programarealer. Dette programareal stemmer ikke nødvendigvis overens med de reelle arealer, hvorfor personer og udstyr skal tjekkes igennem i IDA ICE. Som det fremgår i Figur 6-13, kan der opnås et fuldt overblik over de interne varmetilskud i IDA ICE, hvorfor det ikke var et omfattende tjek.



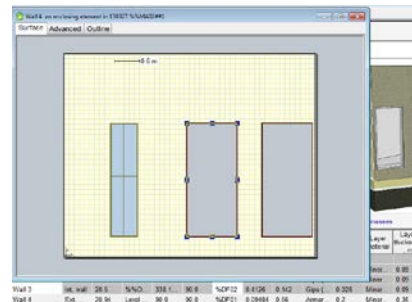
Name	Type	Number of units	Power	Activity level	Cs
%%MA01##1...	Occupant	3 949		1.2	
%%MA01##1...	Light	56.41	4		Sched
%%MA01##1...	Equipment	1	75		
%%AB02##1...	Occupant	100		1.2	
%%AB02##1...	Light	104.8	4		Sched
%%AB02##1...	Equipment	2	90		
%%AB01##1...	Occupant	25.8		1.2	
%%AB01##1...	Light	172.0	4		Sched
%%AB01##1...	Equipment	1	300		
%%HA01##1...	Occupant	4 012		1.2	
%%HA01##1...	Light	23.6	4		Sched
%%HA01##1...	Equipment	1	300		
%%HA01##1...	Equipment	4	75		
%%MA05##1...	Occupant	2 626		1.2	
%%MA05##1...	Light	23.87	4		Sched
%%MA05##1...	Equipment	3	75		
%%MCO1##1...	Occupant	3 829		1.2	

Figur 6-13: Overblik over interne varmetilskud i IDA ICE

## Problem med overførte vinduer

Det er vigtigt at tjekke modellen igennem i IDA ICE og være opmærksom på advarsler for at sikre en korrekt simulering. I dette tilfælde viste det sig, at der kom en advarsel for alle de importerede vinduer:

“Merged window would intersect with door...” Dette opstod, uanset om *Merged Windows* var tjekket af eller ej ved importen. Derfor var det nødvendigt manuelt at slette de åbninger, der lå oven i samtlige vinduer.



Figur 6-14: Problem med overlappende vinduer og åbninger i IDA ICE.

## Zone/funktionsopdeling

Som udgangspunkt simuleres på de naturligt vægafgrænsede zoneopdelinger, der er tegnet af arkitekten. I de tilfælde hvor zonerne ikke var afgrænsede af indervægge, men af *separation-lines* fra Revit, var det nødvendigt at indsætte en åbning i IDA ICE. Denne tilgang var nødvendig mellem bl.a. opholdszonerne og gangarealerne, hvor opholdszonerne tempereres, og gangarealerne ikke tempereres.

### **Simulering**

Det blev vurderet, at det ikke er hensigtsmæssigt at opbygge én stor model i IDA ICE, da der kan opstå lange simuleringstider, og da det let kan blive uoverskueligt at finde fejl i modellen. Fremgangsmåden var derfor at opbygge én model for hver etage og i SimpleBIM sammenfatte resultaterne til én samlet IFC-fil. Ved overførelsen af resultater til databasen mappes der ud fra rumkoder, hvorfor det ikke er et problem at uploade resultaterne i flere omgange. Der blev foretaget simuleringer, som gav resultaterne *summary*, *heating design* og *cooling design*. Simuleringerne blev foretaget med lokationen København. Klimadata blev downloaded fra IDA ICE's database.

#### 6.4.2 Lagring af resultater

For at danne et overblik over de genererede resultater blev disse lagret i databasen. Kravene var allerede i databasen på dette tidspunkt, men det var simuleringresultater og rumoplysninger fra arkitektmodellen ikke.

#### **Upload af resultater til serveren**

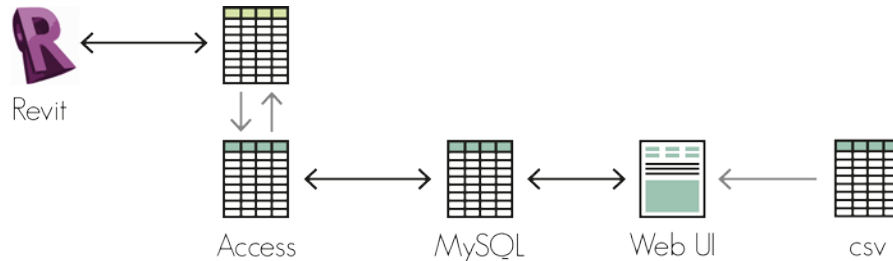
Fra IDA ICE blev resultaterne eksporteret til Excel, og herfra blev de tre datasæt, *Summary*, *Heating Design* og *Cooling Design*, kopieret til separate csv-filer efter anvisningen i afsnit 5.4.1. Fra webinterfacet blev resultaterne uploadet til serveren, hvorved de efterfølgende kunne tilgås både gennem phpMyAdmin og gennem de prædefinerede skemaer for validering, som var oprettet i webinterfacet.

#### **Upload af BIM-model til serveren**

I Revit er der som beskrevet i afsnit 4.4.1 mulighed for at eksportere hele modellen til en ODBC- eller Microsoft Access database. Med et plugin kaldet DB link gives der endvidere mulighed for at etablere en to-vejs synkronisering mellem den centrale database og modellen. Da MySQL understøtter ODBC, skulle det potentielt være muligt at skabe et direkte link imellem de to, men det var kun muligt at synkronisere data ud af modellen. Derfor blev der foretaget et krumspring over Access for at etablere en forbindelse. Dette er beskrevet i bilag I.



Figur 6-15: Mulig synkronisering mellem angivelser i webinterface over MySQL til Revit. Lagring af resultater sker ved manuel upload af csv-filer.



Figur 6-16: Nødvendigt krumspring for at etablere et link. De grå pile illustrerer en manuel overførsel, som delvist kan automatiseres ved prædefinerede queries.

Tabellen *Rooms* blev overført fra Access til MySQL via ODBC, og dermed var arealerne fra modellen tilgængelige i den centrale database. For at etablere et link tilbage til Access blev tabellen, i henhold til tilgangen beskrevet i bilag I, linket tilbage til Access.

### 6.4.3 Kvalitetssikring af termisk simulering

Typisk udarbejdes et notat, som beskriver de overordnede inputdata, der har ligget til grund for simuleringen, og ellers skal selve simuleringmodellen tjekkes igennem.

Databasestrukturen gjorde det muligt at kvalitetssikre de termiske simuleringer ved at holde grundlaget op mod de anvendte værdier. For eksempel kunne interne varmetilskud og setpunkter krydstjekkes mellem krav, steady-state beregninger og simuleringen.

Fordelen ved at opsætte parametre, der skal sammenlignes er, at der dannes et hurtigt overblik over afvigelser. På den måde kan der laves målrettet fejlfinding, som ville være svært i IDA ICE, hvor bygherres krav ikke er tilgængelige.

I IDA ICE resultatfilen, navngives rummene efter nummer efterfulgt af en beskrivelse af resultatet adskilt med punktum. Et eksempel herpå: %%MA01##1.Simulation summary. Når der i phpMyAdmin skal defineres en databaseforespørgsel til sammenligning af informationer mellem krav, simuleringresultater og forhold i Revit-modellen, kan følgende sammenhæng benyttes på typeniveau:



Der kan også udføres sammenligninger på rumniveau. For kravene vil samme værdi dog optræde flere gange, idet der i den udviklede løsning ikke kunne specificeres krav på rumniveau.



### Eksempel på validering

I brugerinterfacet blev solvarmetilskudet krydstjekket mellem overslagsberegningen på informationsniveau 2 og simuleringen i IDA ICE. Det sprang i øjnene, at nogle af toiletterne (%%BB01...) i den termiske simulering havde et solvarmetilskud. Umiddelbart virkede det som en fejl i simuleringen, da der er tale om indeliggende toiletter. Det viste sig dog ved at tjekke IDA ICE modellen, at det skyldes døre, som var sat ind for at undgå undertryk, da der kun var anvendt udsugning fra toiletterne. Når resultaterne er kvalitetssikrede, kan de kommunikeres videre.

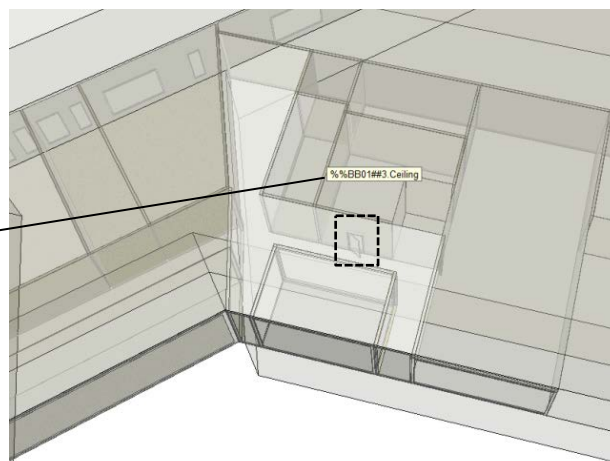
#### Valider resultater

Simuleringsprogram: IDA ICE 4.5 | Validering: Summary: Samlet solvarme | Afvigelse: -

Der er i projektet defineret 40 rum, og dette antal stemmer ikke overens med de uploadede resultater.

**Summary: 40 rum** (der er uploadet resultater fra 54 rum, som ikke er defineret i projektet)  
**Heating design: 20 rum** (der er uploadet resultater fra 13 rum, som ikke er defineret i projektet)  
**Cooling Design: 40 rum** (der er uploadet resultater fra 54 rum, som ikke er defineret i projektet)

Rumkode	Qsolvarme [W]		Afvigelse
	Niveau 2 resultat	Simuleringsresultat	
%%BB01##1	0	35	%
%%BB01##2	0	0	%
%%BB01##3	0	6	%
%%BB01##4	0	0	%
%%BB01##5	0	8	%
%%BB01##6	0	22	%
%%CA01##1	0	0	%
%%CA01##2	0	0	%
%%CA01##3	0	0	%
%%CA01##4	0	0	%



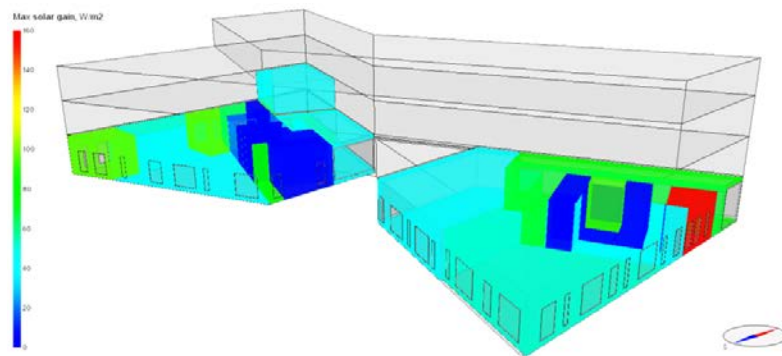
Figur 6-17: Validering af solvarmetilskud.

## 6.5 Kommunikation af resultater

Modtagerne af resultaterne kan opdeles i to grupper. Den ene gruppe skal have et visuelt overblik over, hvordan bygningen overordnet performer. Dette gælder eksempelvis bygherre, arkitekt, brugere osv. Den anden gruppe skal modellere rørføringer og dimensionere systemet. For den gruppe skal resultaterne kunne overføres til eksempelvis Revit og bruges som rettesnor.

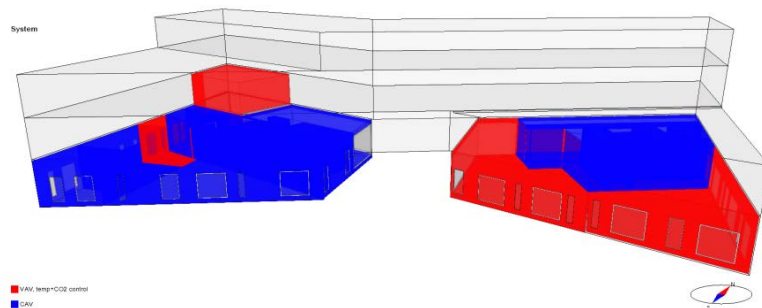
IDA ICE giver mulighed for at visualisere alle resultater og systemopsætninger på zonebasis i en 3D fremstilling. Det giver en grafisk form for validering af resultater og valgte systemer, som i nogle henseender er lettere at overskue end tabelværdier. Samtidig kan det fungere som en videreformidling til grupper, der skal have et overordnet billede af, hvordan bygningen fungerer.

Illustrationerne herunder viser et par få eksempler på, hvad der kan kommunikeres fra IDA ICE.



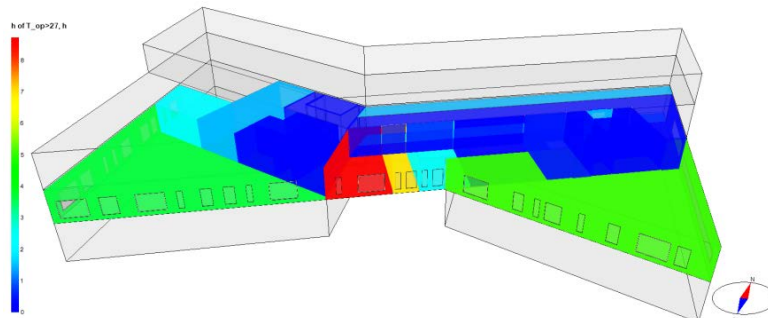
Det ses at pedellens kontor (rødt) får et stort sol-varmetilskud.

Figur 6-18: Solvarmetilskud i stueetagen.



Overblik over ventilationsstyringen (VAV/CAV) for de enkelte rum.

Figur 6-19: Ventilationsstyring i stueetagen.



Visualisering af timer med temperaturer over 27 °C på 1. sal.

Figur 6-20: Overophedning på 1. sal.

### 6.5.1 Udveksling med arkitekt og bygherre

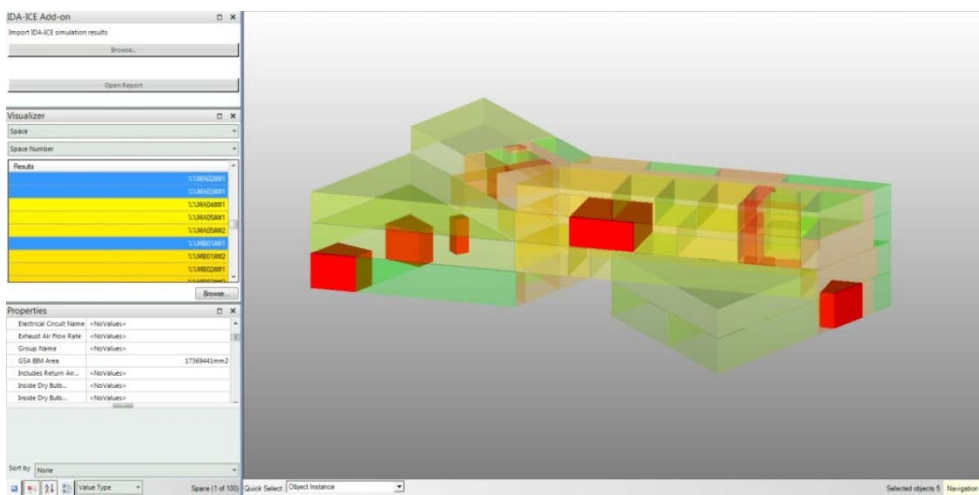
Ud over at visualisere løsninger direkte i IDA ICE blev resultaterne endvidere overført til IFC for dermed muliggøre en visualisering i forskellige modelviewere.

Fra IDA ICE blev der genereret en IFC-fil med resultaterne oplistet til højre. I SimpleBIM kunne disse flettes sammen med modellen og dermed lave en samlet IFC-model med resultater.

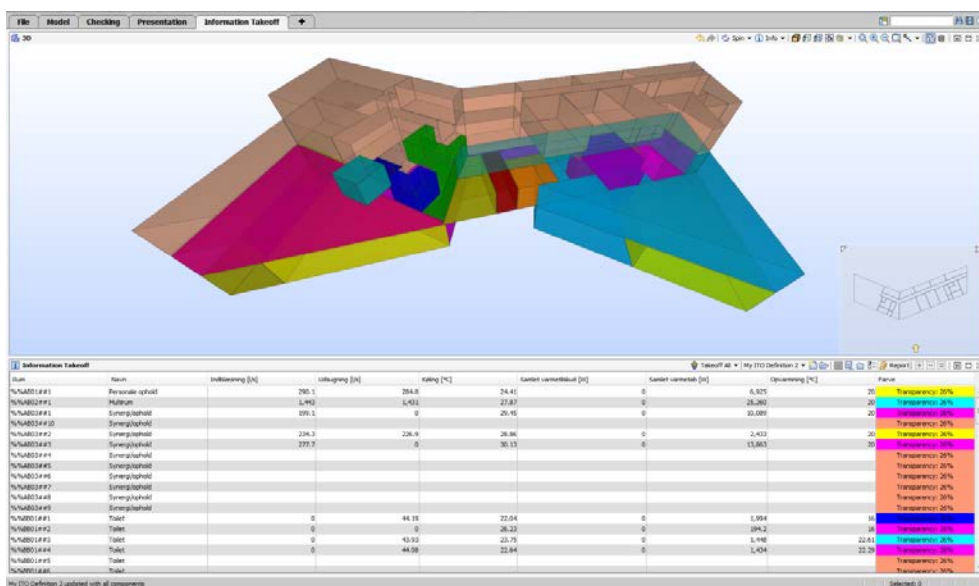
Figur 6-21 viser overophedning på rumbasis for hele bygningen, som det præsenteres i SimpleBIM. I Figur 6-22 er det illustreret, hvordan den genererede IFC-fil kan præsenteres i Solibri eller andre viewere efter egne præferencer.

#### IDA ICE IFC eksport

- CoolingDryBulb [°C]
- HeatingDryBulb [°C]
- ExhaustAirFlowrate [l/s]
- VentilationAirFlowrate [l/s]
- TotalHeatGain [W]
- TotalHeatLoss [W]



Figur 6-21: Grafisk præsentation i SimpleBIM af resultater lagret i IFC-modellen.



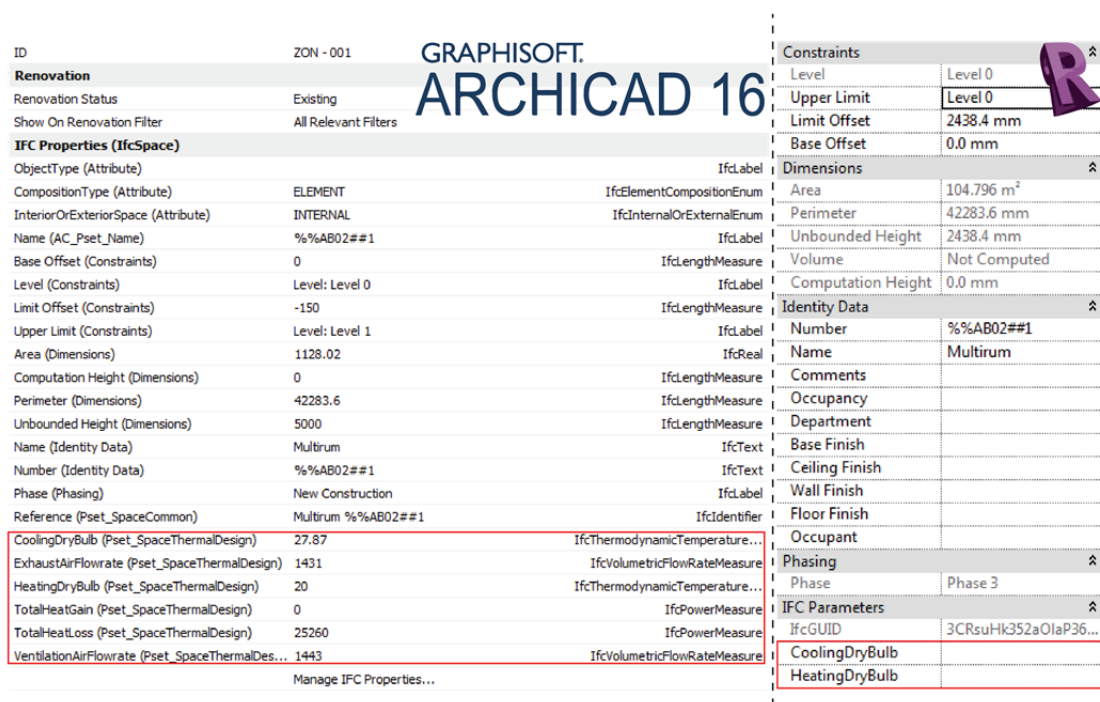
Figur 6-22: Grafisk præsentation i Solibri af resultater lagret i IFC-modellen.



## 6.5.2 Udveksling med HVAC-ingeniør

Da det fra IDA ICE gennem SimpleBIM var muligt at generere en IFC-model indeholdende simuleringsresultater, var det oplagt at undersøge mulighederne for at bruge denne model som grundlag for systemdesignet. Tanken var, at følgende workflow kunne etableres:

- Xref af IFC-model til Revit, MagiCAD eller ArchiCAD med MEP Modeller
- Tilgang til resultater fra modelleringsværktøj som designgrundlag
- Opdatering af Xref når en ny IFC-fil er tilgængelig



The screenshot shows the ArchiCAD 16 interface with a project named 'ZON - 001'. The main window displays the 'IFC Properties (IfcSpace)' table, which lists various attributes and their values. A red box highlights the 'Thermal Design' parameters at the bottom of the table. To the right, a 'Constraints' table is visible, showing levels and offsets. A purple 'R' logo is also present in the top right corner of the interface.

ID	ZON - 001	GRAPHISOFT.
<b>Renovation</b>		<b>ARCHICAD 16</b>
Renovation Status	Existing	
Show On Renovation Filter	All Relevant Filters	
<b>IFC Properties (IfcSpace)</b>		
ObjectType (Attribute)		IfcLabel
CompositionType (Attribute)	ELEMENT	IfcElementCompositionEnum
InteriorOrExteriorSpace (Attribute)	INTERNAL	IfcInternalOrExternalEnum
Name (AC_Pset_Name)	%AB02##1	IfcLabel
Base Offset (Constraints)	0	IfcLengthMeasure
Level (Constraints)	Level: Level 0	IfcLabel
Limit Offset (Constraints)	-150	IfcLengthMeasure
Upper Limit (Constraints)	Level: Level 1	IfcLabel
Area (Dimensions)	1128.02	IfcReal
Computation Height (Dimensions)	0	IfcLengthMeasure
Perimeter (Dimensions)	42283.6	IfcLengthMeasure
Unbounded Height (Dimensions)	5000	IfcLengthMeasure
Name (Identity Data)	Multirum	IfcText
Number (Identity Data)	%AB02##1	IfcText
Phase (Phasing)	New Construction	IfcLabel
Reference (Pset_SpaceCommon)	Multirum %AB02##1	IfcIdentifier
CoolingDryBulb (Pset_SpaceThermalDesign)	27.87	IfcThermodynamicTemperatureMeasure
ExhaustAirFlowrate (Pset_SpaceThermalDesign)	1431	IfcVolumetricFlowRateMeasure
HeatingDryBulb (Pset_SpaceThermalDesign)	20	IfcThermodynamicTemperatureMeasure
TotalHeatGain (Pset_SpaceThermalDesign)	0	IfcPowerMeasure
TotalHeatLoss (Pset_SpaceThermalDesign)	25260	IfcPowerMeasure
VentilationAirFlowrate (Pset_SpaceThermalDesign)	1443	IfcVolumetricFlowRateMeasure

Constraints	
Level	Level 0
Upper Limit	Level 0
Limit Offset	2438.4 mm
Base Offset	0.0 mm

Dimensions	
Area	104.796 m <sup>2</sup>
Perimeter	42283.6 mm
Unbounded Height	2438.4 mm
Volume	Not Computed
Computation Height	0.0 mm

Identity Data	
Number	%AB02##1
Name	Multirum

IFC Parameters	
IfcGUID	3CRsuHk352aOlaP36...
CoolingDryBulb	
HeatingDryBulb	

Figur 6-21: Genkendelse af IFC parametre ved import i ArchiCAD 16 og Revit 2013.

I Revit var det ikke muligt at linke en IFC-fil ind, og ved åbning af IFC-filen var der, som Figur 6-21 viser, ikke adgang til lagrede resultater. I ArchiCAD, blev der ikke oplevet problemer med egenskaberne, og alt blev overført korrekt. Det var ikke muligt at få adgang til MagiCAD, men import af IFC skulle være mulig (NTI CAD Center, 2010).

I det udleverede materiale var HVAC-modellen modelleret i Revit, og det blev gennem brancheundersøgelsen generelt oplevet, at det var programmet de adspurgte virksomheder benyttede. Derfor blev der arbejdet med at etablere et workflow, hvori Revit kunne benyttes til modellering. Det skal dog ikke udelukkes, at et fornuftigt workflow kunne etableres ved brug af den genererede IFC-model og enten MagiCAD eller ArchiCAD med MEP modeller.

### Etablering af HVAC-model

I Revit arbejdes der med to forskellige defineringer af rum. I arkitektmodellen benyttes *Rooms*, og i en MEP-model benyttes *Spaces*. *Spaces* adskiller sig, idet der for denne rumtype kan specificeres forhold, som relaterer sig til indeklimaet i rummet.

For at generere en tabel med Revit Space parametre for rummene, som kunne synkroniseres med resultater indeholdt i databasen, blev en HVAC-model oprettet. I Revit 2013 blev der oprettet en ny fil med *Mechanical template*. Den simple arkitektmodel blev importeret som Xref, og der blev oprettet planer for hver etage.

I Revit findes et værktøj kaldet Copy/Monitor, som kan benyttes til at overvåge udvalgte objekter i den importerede model. I HVAC-modellen blev denne funktion benyttet til, at monitorere om arkitektens etagehøjder ændres. Funktionen ville også kunne bruges til at overvåge ændringer af dæk og vægge, da placeringen af disse har betydning for både rumbehov og føringsveje.

Med funktionen *Place spaces automatically* var det muligt at oprette samtlige rum i modellen, og med *Space Naming Utility*, som Autodesk udgiver til deres subscriptionskunder, blev rumnavne og -numre overført fra den linkede arkitektmodel.

### Overførsel af resultater til Revit

Overførselen af resultater til Revit blev håndteret ved at udføre queries direkte i phpmyadmin. Som det blev beskrevet i afsnit 5.4.1, ville det være mere hensigtsmæssigt, hvis denne overførsel kunne ske direkte fra det udviklede webinterface, men denne funktionalitet blev ikke integreret i projektorløbet. I det følgende er beskrevet en fremgangsmåde, som blev benyttet til at overføre krav til volumenstrømme, til Revit.

Rækken *q\_sup* (Største mekaniske volumenstrøm for frisklufttilførsel ved spidsbelastning) fra tabellen *IDA\_r\_cd* (IDA ICE resultat *Cooling Design*) blev mappet med rækken *CalculatedSupplyAirflow* i *REV\_spaces* (*Revit Spaces*).

I Revit opereres der med 3 definitioner af luftbehov (*Specified*, *Calculated* og *Actual*). *Actual* er hvad rummet får fra apparatur, *calculated* er resultatet af beregninger udført i Revit, og *specified* indeholder manuelt specificerede værdier. Denne *specified* parameter blev benyttet i overførselen.

I Revit-tabellen har alle felter for specificerede værdier som udgangspunkt værdien 0. Denne blev indledningsvist tømt for samtlige rum, idet der findes forskellige rum, som ikke har en lufttilførsel og dermed 0 l/s:

```
UPDATE REV_Spaces SET SpecifiedSupplyAirflow = NULL
```

Herefter kunne resultaterne overføres fra *IDA\_r\_cd* til *REV\_Spaces*:

```
UPDATE REV_Spaces
LEFT JOIN IDA_r_cd ON REV_Spaces.RoomNumber = SUBSTRING_INDEX(IDA_r_cd.Room, '.',1)
SET REV_Spaces.SpecifiedSupplyAirflow = IDA_r_cd.q_sup
WHERE
IDA_r_cd.q_sup IS NOT NULL
```

For at undersøge om overførslen forløb korrekt, blev der forespurgt en sammenligning mellem de to tabeller, og denne returnerede følgende resultat:

Tabel 6-2: Sammenholdelse af specificeret behov i Revit og resultat fra IDA ICE.

Rumkode	q_sup_Revit	q_sup_IDA
%%AB01##1	290	290
%%MA03##1	216	216
%%MA01##1	150	150
...		

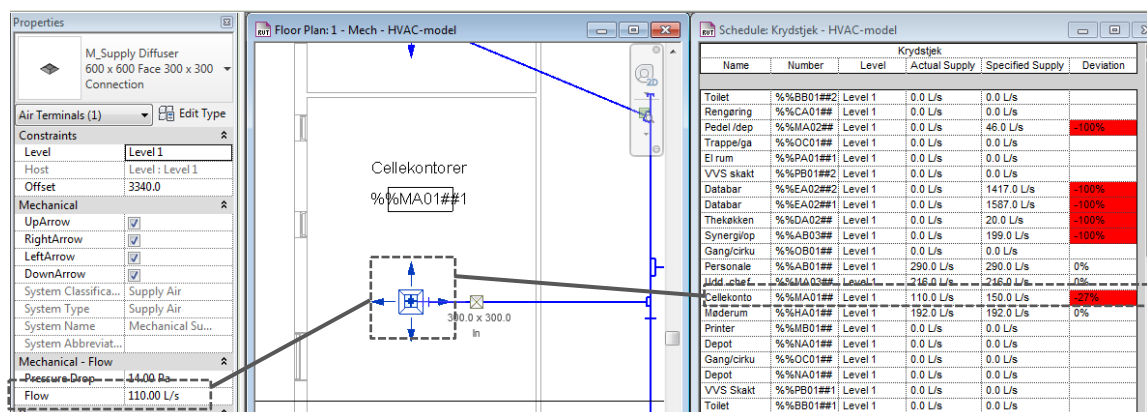
Hvis Revit DBlink havde fungeret med den oprettede ODBC til MySQL, kunne de genererede resultater have været hentet direkte ind i HVAC-modellen. Da dette ikke var tilfældet, var det nødvendigt at gå igennem Access, hvor rækken fra den linkede MySQL-tabel blev kopieret over i den tilsvarende Access-tabel. Herefter var synkroniseringen til Revit mulig.

## 6.6 Videre brug af resultater

I den tidlige fase af projektet skal arkitekten have en idé om, hvor meget plads der skal sættes af til ventilationssystemet. Dette kræver, at der tages stilling til føringsveje og dimensioner bestemt ud fra hastighed, tryktab og støj. I henhold til artiklen i bilag C kan der i processen med at bestemme pladsbehovet med fordel arbejdes med to forskellige løsningsmodeller. Den interne HVAC-model indeholder tekniske detaljer og benyttes til projekteringen, men ved kommunikation af pladsbehov til arkitekten er det mere hensigtsmæssigt at udveksle en simpel volumenmodel.

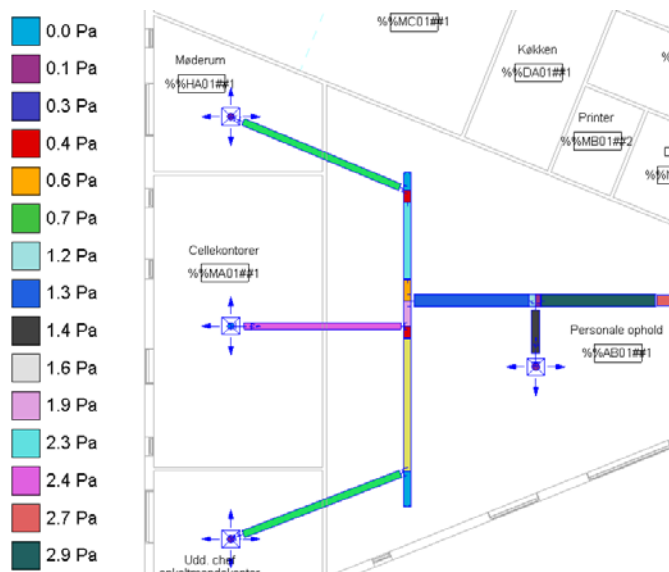
I denne gennemgang vises det, hvordan Revit's MEP modul blev brugt til at modellere overordnede føringsveje, som understøtter de ventilationskrav, der blev fundet på basis af termiske simuleringer på den simple model (informationsniveau 3, Bilag F).

Den tidligere oprettede HVAC-model blev benyttet som grundlag for den videre designprocess. Indledningsvist blev der modelleret tilluft til tre af rummene. Ved at definere et skema som vist i Figur 6-24 var det efterfølgende muligt at tjekke, om det optegnede system opfylder det specificerede behov, som blev overført fra databasen.



Figur 6-24: Krydstjek mellem *Actual supply* og *Specified supply*. De røde felter vises ved afvigelser over 10 %, men kan ændres efter behov.

I Revit gives der mulighed for automatisk at dimensionere anlægget i henhold til specificerede krav til tilladte hastigheder i rør og tryktab. Når dimensioneringen håndteres gennem Revit er det efterfølgende muligt at visualisere tryktab som vist i Figur 6-25.

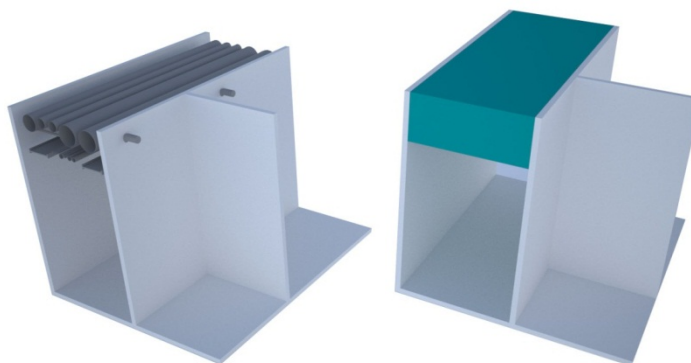


Figur 6-25: Grafisk præsentation for det samlede tryktab i hvert rør.

Den automatisk genererede dimensionering blev i dette illustrerede tilfælde udført ved at forudsætte et tryktab på maks 1 pa/m for hvert rør. Visualiseringen er et kommunikationsredskab, som kan benyttes til at optimere designet. I de tilfælde hvor det er en teknisk tegner, der har designet systemet, kan senioringeniøren, som ikke nødvendigvis behersker Revit, bruge disse udtræk til at validere systemet ud fra. I den udleverede installationsmodel fra Alectia var modellen udelukkende blevet brugt til kollisionskontrol, da der ikke var indsat ventilationsmængder på armaturerne. Med den tilgang er det ikke muligt at lave et krydstjek, som viser uoverensstemmelser mellem det designede anlæg og de beregnede krav. Dermed opstår der i sidste ende en øget risiko for fejl i tilfælde, hvor systembehovet ændres.

For arkitekten er den vigtigste information, hvor meget plads systemet kræver. Derfor vurderes det, at det ville være hensigtsmæssigt at lave en model med simple volumener, som kommunikerer videre efter konceptet som vist i

Figur 6-26. Der skal tages højde for, at det ikke kun er ventilation, men også de øvrige installationer, der skal kunne omkranses af det simple volumen.



Figur 6-26: Simple volumener for kommunikation af pladsbehov.



# 7

## DISKUSSION

---

Gennem projektforløbet blev der udviklet et bud på, hvordan HVAC-ingeniørens arbejdsgang kan effektiviseres ved at benytte en BIM-strategi. Omdrejningspunktet blev det udviklede produkt, som er baseret på den kontekst HVAC-ingeniøren arbejder i, konkretiseret ved den benyttede udvekslingsmetode for informationsniveauer. Værktøjet indeholder en strategi for, hvordan informationer skal udveksles - ikke kun for HVAC-ingeniøren, men også for bygherre og arkitekt. Produktet gør det muligt for bygherre at få overblik over, hvad der er relevant at tage stilling til i forhold til indeklima og energiforbrug. For HVAC-ingeniøren har det udviklede værktøj de nødvendige designrammer samlet ét sted. Derfor kan det integrerede beregningsmodul benyttes til overslagsmæssigt at bestemme ventilations- og kølebehov. Herudover kan der automatisk genereres IDA ICE template filer, som reducerer indtastningsarbejdet betydeligt ved udførelse af termiske simuleringer. Værktøjet giver mulighed for at validere resultater og sammenligne med kravene fra bygherre. Ydermere kan resultater overføres til modelleringsprogrammer, hvor den videre projektering kan finde sted.

En ting er dog at synliggøre et optimeringsforslag, en anden ting er at få en branche til at adoptere de påtænkte metoder og værktøjer.

Traditionelt set er det vigtigt for en ingeniør at have et klart overblik over de beregninger, vedkommende udfører. Det blev i brancheundersøgelsen bekræftet at ventilationsbehov typisk udregnes i personlige regneark, hvor den enkelte har sat sit eget erfaringsbaserede præg. I det udviklede værktøj opsættes der klare rammer for beregninger, og dermed mister ingeniøren indsigt. Omvendt giver en sådan struktur den fordel, at andre, der skal overtage arbejdet, hurtigt kan få et overblik, hvilket ikke nødvendigvis er tilfældet for et personligt regneark. Desuden reduceres risikoen for referencefejl i formler, hvilket ifølge en artikel, der i april 2013 blev bragt i Financial Times, påpeges at finde sted i 88 % af alle regneark (Olshan, 2013). I praksis vil det betyde, at der ikke skal bruges tid på at finde frem til gældende tegninger eller modeller og manuelt overføre samtlige rumnavne, koder og arealer til regnearket. Slutteligt skal HVAC-ingeniøren ikke finde frem til gældende byggeprogram og granske det igennem for relevante krav. Det at være underlagt en struktur er svagheden ved mange programmer, idet det er designeren af værktøjet, der har opstillet spillereglerne. Denne problemstilling berører ikke kun HVAC-ingeniøren, men er også gældende for bygherre og andre faggrupper, der måtte blive brugere af produktet. I bygherres tilfælde er det dog vigtigt at påpege, at værktøjet ikke er en erstatning for det traditionelle byggeprogram, idet mange krav til et byggeprojekt ikke kan stilles så faktuel op, som det er nødvendigt i den opstillede data-

basestruktur. Byggeprogrammet og produktet skal derfor bistå hinanden ved, at kun de konkrete krav lægges i databasen.

For at give en øget fleksibilitet vurderes det, at der bør gives mulighed for oprettelse af personlige parametre, som er gældende på projektbasis. Ved at gøre customparametre tilgængelige for de relevante parter, kunne disse eksempelvis indgå i personligt definerede udregninger. Tilgangen med selv at kunne udføre beregninger med udgangspunkt i konkret indhold ville også være relevant for de prædefinerede parametre.

Indledningsvis var målet at udvikle et værktøj til forbedring af HVAC-ingeniørens arbejdsgang. I forløbet blev det dog erfaret, at det var nødvendigt med en holistisk tilgang, som også tog hensyn til processer udført af de øvrige aktører i et byggeprojekt. Det fremlagte produkts styrke er først fuldt udtrykt, når al relevant information fra byggeprogrammet kan lagres, og de centrale rådgivere får et lignende løsningsmodul som det der blev udviklet for HVAC-ingeniøren. Dette vil give en bedre proces for alle, men måske især for bygherre, ingeniører og udførende. For arkitekten kan det virke som en ekstra byrde for eksempel at skulle levere brugbare IFC-modeller til HVAC-ingeniøren og sørge for at de viste konstruktionsopbygninger i brugerinterfacet er gældende. Dette opvejes til gengæld af, at HVAC-ingeniøren får mulighed for at levere hurtigere og mere præcise svar på eksempelvis plads til systemer, strategisk placering af funktioner og vinduesarealer, som er i arkitektens interesse at blive informeret om. Desuden kunne udvekslingen af simple 3D-modeller, som viser pladsbehovet, forlanges leveret af HVAC-ingeniøren på et tidligt stadie for at give arkitekten klarere rammer. Dermed gives belæg for et mere konstruktivt samarbejde for begge parter, som reducerer omfanget af ændringer for arkitekten på grund af dårlig kommunikation.

Selvom værdiskabelsen for byggeriet som helhed er størst ved en udbredelse til de øvrige fagdiscipliner, er der stadig et betydeligt potentiale i den form, værktøjet er fremvist i afhandlingen. Selv hvis ingeniøren manuelt skal indtaste designkravene fra byggeprogrammet, gives der stadig mulighed for en struktureret lagring af de senest gældende beslutninger. Desuden blev der skabt en infrastruktur, som sikrer at resultater videregives, når projektet skifter hænder. Dermed sikres det, at systemerne, leverer det behov, som gennem de indledende faser blev bestemt.

Det største udbytte for HVAC-ingeniøren opnås, hvis bygherre indvilliger i at benytte værktøjet til dokumentation af byggeriets rammer. Incitamentet for at gøre dette er dels den øgede gennemsigtighed, der opnås, og dels den øgede sikkerhed for at få, hvad der bliver bedt om. Gennemsigtigheden opnås ved, at bygherre på aftalte tidspunkter kan tjekke resultaterne enten i en IFC-modelviewer eller direkte i webinterfacet. Det gør at bygherre kan bryde ind i tide, hvis det viser sig at det mål, der arbejdes hen imod, ikke er korrekt.

At produktet i den præsenterede form blot faciliterer lagring af indeklimate og energikrav, kan synes begrænset i forhold til et fuldt byggeprogram. Dog kan indeklimate og energikrav udgøre tungtvejende poster for driftsherre og brugere, da det har indflydelse på driftsomkostninger, trivsel og velvære. Det kan endvidere blive bekosteligt, hvis det sent i projektforsløbet viser sig, at kravene fra bygherre ikke er blevet opfyldt, eller ikke er tilfredsstillende for driftsherre og brugere. Enten kan rådgivere have overset elemen-



ter i byggeprogrammet, så kravene ikke opfyldes, eller også kan det ske, at driftsherre eller brugere ikke er blevet ordentligt informeret om kravene og pludselig ønsker dem ændret.

Det ressourcekrævende element i forbindelse med ændringer består blandt andet i, at de arkitektoniske parametre er tæt forbundet med indeklima og energi og derfor har indflydelse på placering af nedhængte lofter, vinduesarealer osv. Problemstillingen er relateret til manglende kommunikation, hvilket den udviklede strategi håndterer ved at sammenholde og synliggøre forholdet mellem krav og løsninger i et tilgængeligt webinterface. Driftsherre, brugere og andre relevante nøglepersoner kan ved at overvåge beslutningstagningen sikre sig indblik i projektets aktuelle status.

Der er blevet argumenteret for, at produktet kan reducere tidsforbruget til rutineprægede opgaver med kopiering af allerede defineret materiale og remodellering af geometri. Tanken er dog ikke, at ingeniørerne skal gøres arbejdsløse, men snarere at den vundne tid skal bruges på at designe bedre og mere veldokumenterede løsninger. I en artikel bragt i *Ingeniøren* i December 2012 påpeges det, at ingeniørernes udbudsmateriale er for ringe, og derfor ville det være oplagt at investere den vundne tid i dette felt (Marfelt, 2012).

Der kan spørges, hvorfor bygherre og bygherrerådgivere ikke sætter skarpere krav til leverancerne. Det kan skyldes mangel på redskaber, strategier og ressourcer til løbende at vurdere projektets status. Marianne Thorbøll påpegede, at der ikke er en tradition for at skulle effektivisere byggeprogrammer.

I den udviklede tilgang stilles skarpere krav til indeklimaet, men samtidig præsenteres et værktøj, som af HVAC-ingeniøren kan bruges til imødekomme disse krav.



# 8

## KONKLUSION

---

Formålet med projektet var at søge en løsning på problemstillingen: *Hvordan kan arbejdsgangen for HVAC-ingeniøren optimeres med udgangspunkt i de designrammer, der skal tages afsæt i, og kan der opstilles en overordnet BIM strategi, som andre parter, fra bygherre til rådgivere, også kan drage nytte af?*

Det blev gennem projektets indledende afsnit dokumenteret, at en af branchens største udfordringer består i at skabe en bedre kommunikation imellem de involverede parter. På baggrund af litteratur på området samt interviews med folk fra branchen blev det klart, at en del af misforståelserne skyldes manglende forbindelse mellem krav og løsninger.

Da HVAC-ingeniørens arbejde er influeret af en række faggrupper, var der behov for en holistisk tilgang for, at kunne optimere arbejdsgangen.

Ved at kortlægge de nødvendige processer og rammer for design af HVAC-systemer, blev der dannet grundlag for udviklingen af et databaseorienteret værktøj. Det udviklede værktøj skaber en direkte forbindelse mellem bygherres kravangivelser og rådgivers løsninger, hvilket giver grobund for en bedre kommunikation med færre fejlaflæsninger og misforståelser. Erfaringer gjort med værktøjet indikerer at denne tilgang til lagring af informationer, ikke kun vil forbedre HVAC-ingeniørens arbejdsgang, men også vil give bygherre en bedre sikkerhed, for at projektet udvikler sig i den ønskede retning. Værktøjet faciliterer blandt andet:

- Oprettelse og vedligeholdelse af struktureret byggeprogram for angivelse af krav til indeklima og energi
- Standardiseret rumskema til steady-state beregninger med udgangspunkt i normer og bygherrekrav
- Automatisk generering af template til det termiske simuleringsprogram IDA ICE med udgangspunkt i bygherrekrav
- Validering af resultater i forhold til byggeprogram, tidligere beregninger og løsningsmodeller
- Overførsel af resultater til Revit gennem synkronisering af databaser

---

Ved at udvikle et lettilgængeligt værktøj var det muligt at befrie I'et i BIM. Informationer, der før var svære at tilgå, fordi de var indeholdt i svært tilgængelige værktøjer, blev gjort tilgængelige for alle projektets nøglepersoner i et webinterface. Dermed er det ikke kun den tekniske assistent, der får adgang, men også de personer der sidder med konkret viden.

Da databaseløsningen blev tænkt som et helhedsorienteret værktøj, som skal udgøre en central rolle i kommunikationen, ville det være nærliggende at udvide løsningen fra kun at facilitere bygherre og HVAC-ingeniør, til også at kunne benyttes af de øvrige rådgivere, driftsherre osv. Det vil øge incitamentet til at bidrage med resultater, hvis alle kan få et udbytte, og dermed er der større chance for at værktøjet også får den centrale plads i kommunikationen.



## 9

## BIBLIOGRAFI

- 
- CR 1752. (2001). *Ventilation i bygninger - Projekteringskriterier for indeklimaet*. Charlottenlund: Dansk Standard.
- DS 418. (2011). *Beregning af bygningers varmetab*. Dansk Standard, Charlottenlund.
- DS 700. (2005). *Kunstig belysning i arbejdslokaler*. Dansk Standard, Charlottenlund.
- EN 15251. (2007). *Input-parametre til indeklimaet ved design og bestemmelse af bygningers energimæssige ydeevne vedrørende indendørs luftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustik*. Dansk Standard, Charlottenlund.
- Energistyrelsen. (2010). Hentet fra BR10: 6.5.2 Dagslys: [http://www.bygningsreglementet.dk/br10\\_03\\_id102/0/42](http://www.bygningsreglementet.dk/br10_03_id102/0/42)
- EnergyPlus. (2012). *EnergyPlus Engineering Reference*. US Department of Energy.
- Hietanen, J. (04 2011). Hentet fra Test results for NOW-001 (subset of CDB-2010): [http://www.blis-project.org/IAI-MVD/testing/NOW-001/now001\\_results\\_110411.html](http://www.blis-project.org/IAI-MVD/testing/NOW-001/now001_results_110411.html)
- Hitchcock, R. J., Nisbet, N., Wilkins, C., Tanis, M., Hänninen, R., & Laine, T. (2012). *Ontology for Life-Cycle Modeling of Heating, Ventilating, and Air Conditioning (HVAC) Systems*. US Army Corps of Engineers, Kelsey, CA.
- ISO 29481-1. (2010). *BIM IDM - Methodology and format*. International Organization for Standardization.
- ISO 7730. (2006). *Ergonomi inden for termisk miljø - Analytisk bestemmelse og fortolkning af termisk komfort ved beregning af PMV- og PPD-indeksere og lokale termiske komfortkriterier*. Dansk Standard, Charlottenlund.
- Karlshøj, J. (2013). Vejleder, DTU.
- Khazode, A. (2010). *An Integrated, Virtual Design and Construction and Lean (IVL) Method for Coordination of MEP*. CIFE, Stanford University.
- Kiviniemi, A. (2005). *Requirements Management Interface to Building Product Models*. Palo Alto: Stanford University.
- Laine, T., Bäckström, K., & Järvinen, T. (2012). *COBIM Series 10 - Energy Analysis*. The Building Information Foundation RTS.
- Lee, J.-K., Lee, J., Jeong, Y.-s., Sheward, H., Sanguinetti, P., Abdelmohsen, S., & Eastman, C. M. (Marts 2012). Development of space database for automated building design review systems. *Elsevier*, 203-212.

- Lundsgaard, T., Alsdorf, M., Johannessen, C., Søefeldt, M. B., Nielsen, H. V., & Rønnow, G. (2008). *C102 - CAD-manual 2008*. bips, Ballerup.
- Marfelt, B. (December 2012). Hentet fra Ingeniøren: <http://ing.dk/artikel/entreprenorer-radgivernes-sjuskede-udbud-koster-os-dyrt-135161>
- Munck, K., & Clausen, V. (2008). *Krav til elforbruget i belysningsanlæg i offentlige og private bygninger 2008-2020*. Dansk Center for Lys.
- NTI CAD Center. (November 2010). Hentet fra MagiCAD i et BIM-prosjekt : <http://www.nti.dk/media/579420/magicad%20i%20et%20bim-prosjekt.pdf>
- Olesen, B. W., Babiak, J., & Petráš, D. (2009). *Low temperature heating and high temperature cooling*. Bruxelles, Belgien: REHVA.
- Olshan, J. (20. April 2013). *Marked Watch*. Hentet fra The wall street journal: <http://www.marketwatch.com/story/88-of-spreadsheets-have-errors-2013-04-17>
- Pedersen, K. B., Nybo, E., Jespersen, G., Madsen, L. H., & Zimmermann, M. (2012). *Metode og struktur for informationsniveauer*. Herlev: Cuneco.
- Strandgaard, M. (2012). Projektleder, CAD-Q.
- Terpøger, K., Andersen, P., Heiselberg, P., & Aggerholm, S. (2002). *SBi-anvisning 202 - Naturlig ventilation i erhvervsbygninger*. Statens Byggeforskningsinstitut, København.
- Østergaard, P. H. (2011). BIM bliver hverdag i UBST. *bips nyt*(02), 24-31.





# A

## INTERVIEWGUIDE

---

Tema	Spørgsmål
Demografiske	-Hvor længe har du været ansat i virksomheden?
	-Hvad er din faglige baggrund?
	-Hvad er din typiske arbejdsopgave/virke i virksomheden?
Arbejdsrutiner	-Hvilket materiale ligger typisk til grundlag for udarbejdelse af et forprojekt?
	-Hvordan analyserer I jer frem til systembehov?
	-Hvordan designer/dimensionerer I distributionssystemet?
	-Hvad er jeres fremgangsmåde for en Be10 beregning, termisk simulering, dagslys, evt. CFD mm.?
	-Hvilke værktøjer bruges til udførelse af tegningsmateriale? 2D eller 3D?
	-I hvilket format leveres materialet videre?
	-Bruger i standardbeskrivelser? Evt. Bips?
	-Hvordan kommunikerer I med jeres samarbejdspartnere? Informationsudveksling?
BIM i virksomheden	-Hvad forstår du ved BIM?
	-Har virksomheden en BIM-strategi?
	-Har I nogen retningslinjer for brug af BIM?
	-Hvilket klassifikationssystem benytter I?
	-Hvornår blev BIM introduceret i virksomheden?
	-På hvilke område har I haft et positivt udbytte, overordnet set? På hvilke afdelinger især?
BIM i installationsafdelingen	-Føler I at det modtaget materiale er tilfredsstillende til at udføre jeres analyser, eller er I i høj grad nødt til at remodellere?
	-Føler I at der er problemer med at få relevante informationer ud af den opbyggede model?
	-Hvilke konkrete udfordringer står I med på nuværende tidspunkt?
	-Ser du/I nogle potentialer som i har svært ved at udnytte idag?
Visioner	-Har virksomheden en særlig fremtidsvision for brugen af BIM?
	-Har du tænkt på hvad det perfekte workflow kunne være?
	-Hvilke fordele og ulemper ser du ved standardiserede klassifikationssystemer?



# B

## BRANCHEUNDERSØGELSE

---

### Interviews med ingeniørvirksomheder

Virksomhed	Til stede	Stilling
nne pharmaplan	Lars Johansson	BIM koordinator
Niras	Rune Andersen	BIM koordinator (installationer)
Moe & Brødsgaard	Morten Andersson Simon Steinbo Jesper Henningsen Asger Bendtsen Lars Rasmussen	Udviklingschef Afdelingsleder, HVAC CAD-chef HVAC-ingeniør HVAC-ingeniør
Rambøll	Niels Tredal	Faglig leder, 3D HVAC-design Cuneco
MT Højgaard	Camilla Dyring	VVS-ingeniør, Design & tender (Bæredygtighed)

I det følgende redegøres mere dybdegående for hovedemnerne i de gennemførte interviews. Emnerne er vilkårligt prioriteret, og derfor betragtes de på dette stadie som værende jævnbyrdige i relevans og vigtighed.

### Byggeriets faser og informationsflow

For at skabe en fornuftig tidsplan over informationsflowet blev det i flere sammenhænge nævnt, at det er vigtigt at få kortlagt byggeriets faser. For HVAC-ingeniøren handler den vigtigste del af kommunikationen om pladsbehov og føringsveje, da de i høj grad påvirker de øvrige aktører.

Arkitekten vil som noget af det første have at vide hvor stort teknikrummet skal være, samt hvor mange og hvor store vinduer der må sætte i bygningen. Det kan nogle gange ske på et stadie, hvor der dårligt nok er taget stilling til hvordan bygningen skal se ud, og hvilke rumfunktioner den skal indeholde.

En af virksomhederne påpegede, at ingeniørens indsats, fordi den kræver et grundlag fra arkitekten, kommer til at ligge senere i projektforsløbet. Indsatsen fra arkitekt og ingeniør kommer altså til at ligge forskudt af hinanden, og dette vanskeliggør koordineringen. Dette emne kommenteres også af en anden virksomhed, og her er holdningen, at der stadig skal ske en ingeniørmæssig indsats parallelt med arkitektens, selvom informationerne på dette stadie er sparsomme. Den tidlige indsats skal dog ikke være lige så stor, og resultaterne må forventes at være på overslagsniveau og dermed et detaljeringsniveau, der mod-

svarer af projektet. Den klare fordel ved at have disse overslagsresultater er, at der gives en bedre forståelse for projektet, som kan danne grundlag for en bedre dialog med arkitekten. Via denne dialog kan der træffes designbeslutninger, som gør den videre projektering nemmere og øger det færdige byggeris kvalitet.

### **Den typiske arbejdsgang for HVAC-ingeniøren.**

Typisk risikerer ingeniøren kun at have et ganske sparsomt materiale til grundlag for et overslag på ventilationsbehov og dermed pladsbehov. Udarbejder rumskemaer i Excel baseret på arkitektens informationer omkring funktioner, geometri osv.

### **Et bud på et informationsflow**

Fra én af virksomhederne gives et bud på, hvordan informationsflowet overordnet set kunne foregå set fra en HVAC-ingeniørs perspektiv. Når et overslag for ventilationsbehovet skal udarbejdes, foreslås det at arkitekten leverer en simpel foreløbig 3D model, indeholdende de overordnede funktionsinddelinger i bygningen. Denne model kan danne grundlag for simuleringer til bestemmelse af varme/kølebehov, og dermed fåes et overblik over behovene forskellige steder i bygningen. Hvis arkitekten på dette stadie endnu ikke har taget stilling til antal, størrelser og placeringer af vinduer, vil det ud fra simuleringerne være muligt, at give nogle retningslinjer for 'tilladte' glasandele.

Fra konstruktionsingeniøren må det forventes, at bygningens overordnede statiske system er vurderet, og derfor er 'hellige vægge' udpeget over for HVAC-ingeniøren.

Når ovenstående er på plads kan der tages stilling til følgende:

- Placering af teknikrum
- Pladsbehov i teknikrum
- Udlægning af hovedføringsveje
- Udlægning af skakte

Hos den pågældende virksomhed har en såkaldt 'space manager' i større projekter rollen at koordinere og beskrive hvor føringsveje for ventilation, varme, vand, afløb, el mm. skal løbe i gangene, hvordan der skal krydses osv.

Når alle disse informationer er på plads kan der tegnes en simpel 3D-geometri, som overordnet kommunikerer pladsbehovene videre til de øvrige aktører. Detaljeringen af denne 3D-geometri skal tilsvare niveauet af den information der ligger til grund for beregningerne.

Efterhånden som mere viden om bygningen bliver tilgængelig, bliver geometrien detaljeret yderligere. På et tidspunkt bliver detaljeringen sådan, at det tager tid at udføre ændringer når nye oplysninger er tilgængelige og detaljering til dette stadie skal derfor ikke ske for tidligt.

## Erfaringer med 3D

Samtlige af de adspurgte virksomheder arbejder i et vist omfang i 3D inden for installationer og har gjort det i nogle år. Det være sig fra i den tidlige fase med simple volumener, der repræsenterer teknikrum, rørføringer osv., og helt frem til detailprojektering.

Der er stadig en række problemer forbundet med at arbejde i 3D, som de fleste virksomheder kæmper med. Disse problemer spænder fra modeltekniske problemer med at modellere korrekte 'sunde' modeller til koordinering og ansvarsfordeling, og videre til generering af tilfredsstillende 2D tegningsmateriale.

Som udgangspunkt bruges 3D-modelleringen fra de forskellige ingeniørers side til vurdering af pladsforhold samt koordinering ved kollisionskontrol. 3D modellerne bliver et redskab til at forstå og sikre at installationer konstruktioner mm. går geometrisk op, samt i de fleste tilfælde også til mængdeudtræk. En af interviewdeltagerne sætter dog selv spørgsmålstegn ved, i hvor høj grad dette kan kaldes for BIM. Som udgangspunkt er der ikke nogen virksomheder, som har et fuldt etableret BIM workflow i følge ham.

Det påpeges, at det er en forudsætning at der først er styr på at modellerne er gode og 'sunde' før arbejdet med den store forkromede BIM-model overhovedet påbegyndes. Det vurderes at det er et fag i sig selv at være god til at modellere korrekt. Det skyldes de krav og forventninger, der stilles til modellen. Situationen er den, at selvom en 3D-model er genereret, så skal der trækkes planer, snit og isometriske diagrammer ud. For disse udtræk er der forholdsvis klare traditioner for hvordan tegningsmaterialet skal se ud. Traditionelt vises installationstegninger på diagramatisk form, men ved udtræk fra modellen genereres tegningerne nøjagtigt som de ses i den valgte visning. Et snit i 3D-modellens kælderplan, hvor teknikrummet er placeret, vil ikke umiddelbart ligne det, der traditionelt ses på en plantegning over installationer. Rør der ligger skjult bag hinanden vil ikke være synlige, og symboler for ventiler overholder ikke nødvendigvis branchestandarderne.

Ved traditionelle 2D-tegninger er der mere 'kunstnerisk frihed' til at tegne så det kan kommunikeres som ønsket. Udfordringen for nogle virksomheder er med andre ord, at der ønskes et tegningsmateriale der ligner de 'gamle tegninger'.

Den umiddelbare løsning der påpeges er at benytte 3D-modellerne som et udgangspunkt som så tilrettes med traditionelle CAD-værktøjer. Dermed argumenteres der for at der stadig er vundet noget ved at have 3D-geometrien.

Det nævnes også, at problematikken måske snarere ligger i, at de udførende stadig forlanger traditionelt materiale og ikke på nuværende stadie formår at udnytte 3D-modellen. I denne sammenhæng bemærkes det at entreprenøren ved at udlevere tablets til håndværkerne kunne give dem et værktøj til bedre at forstå byggeriet.

I en af de adspurgte virksomheder bliver der arbejdet med en konkret struktur for hvilket tegningsmateriale der leveres sammen med modellen. Når både model og tegningsmateriale udleveres er det vigtigt at have nogle retningslinjer. Ikke alle detaljer tegnes med i 3D, men ligger i stedet på i snit og detaljer i 2D. Derfor er det vigtigt at det udleverede 2D-materiale stadig er det juridisk gældende, da dette er kvalitets-sikret. Ved at udlevere modellen har entreprenøren dog bedre mulighed for at forstå projektets helhed, og

hvis det på forhånd er gjort klart, netop hvilket 2D-materiale der vil blive udleveret, vil entreprenøren være ansvarlig for at generere de 2D-udtræk han synes er nødvendige for at forstå projektet. Dette er en omfordeling ift. den typiske situation, hvor entreprenøren løbende efterspørger yderligere uddybende tegningsmateriale.

### **Udveksling/Ansvar**

En arbejdsproces der går fra 2D til 3D indebærer ud over det modeltekniske også en tilrettelæggelse, koordinering og ansvarsfordeling både internt i en virksomhed og mellem de parter der skal udveksle modellerne.

Internt i virksomhederne fremhæves det, at det kræver ekstra fokus for medarbejderne at tegne i 3D. Der er flere eksempler på at der opstår koordineringsproblemer, som ikke nødvendigvis ville opstå i 2D stregtegningerne. Det er for eksempel erfaret at HVAC-ingeniøren får modelleret sit system i 3D modellen, men glemmer at holde sig i den rigtige side eller kote i gangene. Det opdages først når de forskellige fagmodeller samles til kollisionstjek. I flere programmer tillades det, at flere faggrupper modellerer simultant på individuelle maskiner, men typisk vil de andres modeller holdes slukket for overskuelighedens skyld. Hvis de øvrige faggruppers modeller holdes skjulte i for lange perioder opstår problematikken også her. Hvis det sker sent i forløbet, hvilket flere af de adspurgte virksomheder har været ude for, er det dyrt at få rettet op.

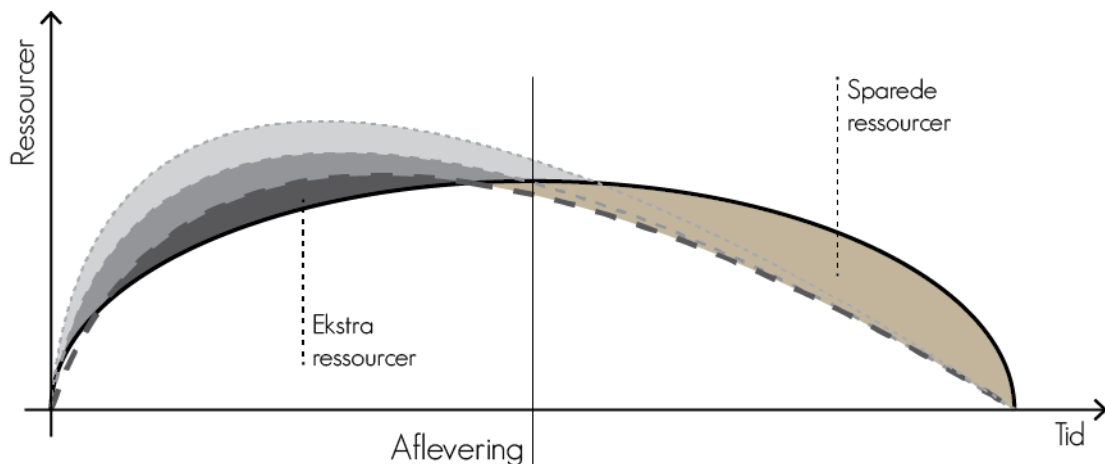
Hvad angår udveksling af modeller med andre parter for eksempel med arkitekten, hvilket typisk finder sted ved et på forhånd aftalt interval, oplevede en af de adspurgte virksomheder at det kan være svært at identificere netop hvor i modellen der var foretaget ændringer. I traditionel 2D benyttes revisionssskyer til at kommunikere hvor der er foretaget ændringer, og dermed er det arkitektens ansvar at kommunikere ændringerne til modtageren. I 3D fremsendes en opdateret model hvor ændringer ikke på samme måde er markerede. Det har i forskellige tilfælde vist sig at være ganske problematisk at identificere hvor ændringerne er sket og hvad der er sket.

Autodesk's tilgang til problematikken er at modtageren benytter funktionen 'compare models' til at identificere hvilke ændringer der er foretaget. Dermed flyttes ansvaret fra afsenderen (arkitekten) over på modtageren (ingeniøren), som skal lægge et stykke arbejde i at forstå hvor i modellen ændringerne findes.

### **Gevinst**

Der er virksomheder, hvor det stadig diskuteres, hvorvidt det kan betale sig at arbejde i 3D, da man møder ovenstående barrierer og samtidig har en medarbejderstab, som skal omskoles og indstilles på de nye muligheder. Ikke desto mindre så er den klare holdning at det er en gevinst ved denne omstilling. Det nævnes bl.a. fra en interviewdeltager at alle de projektledere vedkommene har snakket med, som har arbejdet i 3D, er gået positive ud af projektet. Dog med en ærgrelse over at være kommet i gang med 3D-modelleringen for sent i processen. Det skyldes bl.a. i følge vedkommene, at mange af de værktøjer der bruges, er beregnet til den sene projektering. Hvorfor der efterspørger nogle gode 'early stage' værktøjer eller strategier til hvordan værktøjerne bruges simpelt.

Samlet set kan gevinsten og ressourcefordelingen for virksomhederne ved denne 3D modellering illustreres via følgende figur.



Figur B-1: Rentegning af håndskitse som blev fremvist ved et virksomhedsinterview.

Som det fremgår af grafen, har rådgiverens traditionelle ressourceforbrug været mere eller mindre det samme før og efter aflevering til udførelse. Den sene indsats skyldes, at løbende revisioner af materialet har været nødvendig, grundet uforudsete fejl og uklarheder som løbende opstod. Ved at tegne i 3D kan rådgivere indbyrdes koordinere med udgangspunkt i modellen, og dermed sikres et mere gennearbejdet produkt. Som det fremgår af figuren, så kræver dette at der investeres ekstra ressourcer tidligt, hvilket især er en konsekvens af tidligere nævnte problematikker. Til gengæld siger erfaringerne at det mere gennearbejdede projekt give færre rettelser i udførelsesfasen, og dermed skulle en samlet gevinst være opnået for rådgiver og endeligt et bedre byggeri for bygherre. At der opnås et bedre byggeri ses bl.a. som et resultat af, at et mere gennearbejdet projekt i 3D i sidste ende også medfører et mere energieffektivt byggeri, da en minimering af unødige bøjninger og ikke optimale rørføringsveje kan designes og koordineres. Alt andet lige vil bedre koordinerede rørføringer resultere i lavere tryktab og dermed energiforbrug til systemet.

## Detaljeringsgrad

Det blev ved flere af møderne nævnt som et generelt problem, at der på et for tidligt tidspunkt modelleres til en for høj detaljeringsgrad, med det udfald, at det bliver mere omfattende at udføre rettelser. I denne sammenhæng nævnes et konkret eksempel, hvor en nyuddannet kommer ind i virksomheden. Han er godt inde i softwaren og bruger én til to ugers tid på at lave en gennearbejdet detaljeret model, hvor alt er tegnet op. Problemet er, at efterhånden som projektet ændrer sig, bliver modellen lige til at smide ud, da det i mange henseender er for besværligt at tilrette modellen når der sker designændringer.

Problematikken menes til dels at bestå i at de programmer, der arbejdes i er så målrettede mod slutproduktet, at der i høj grad ligges op til at der modelleres til en for høj detaljeringsgrad helt fra starten. Dermed skal der tages stilling til meget på et stadie hvor projektet måske kun er på skitseniveau. I starten er der snarere behov for et simpelt værktøj, hvori simpel geometri kan genereres og formidle hovedføringsveje og pladsbehov, påpeges det.

På et senere tidspunkt hvor større viden er tilgængelig og fastlagt, kan den store detaljerede model påbegyndes. På dette stadie giver dimensioneringsværktøjerne i de store softwarepakker god mening.

En anden problemstilling den høje detaljeringsgrad medfører er, at det i et offentligt udbudsmateriale ikke er tilladt at være leverandør- og produktspecifik i sit beskrivelsesmateriale, og dermed heller ikke i sin model. I MagiCAD er man nødt til at være produktspecifik når man indsætter en komponent, da hele programmets bibliotek bygger på konkrete produktdata-baser fra udvalgte producenter. Når der skal dimensioneres for mindskelse af støj, træk osv. er man nødt til at være specifik i sit produktvalg da de egenskaber, der påvirker netop disse parametre varierer meget fra produkt til produkt. Derfor er det også svært at benytte generiske komponenter når der designes.

I praksis resulterer udbudskravet i at rådgiveren går ind og sletter informationer i modellen inden den sendes i udbud. Altså beriges modellen med en række informationer som efterfølgende slettes igen.

Den funktionalitet MagiCAD tilbyder, hører snarere til i detailprojekteringen af hovedprojektet, og som nævnt er denne detaljeringsgrad ikke nødvendig i de tidlige faser. Her kan der benyttes generiske komponenter, som gradvist stiger i detaljeringsgrad efterhånden som mere viden om projektet bliver tilgængelig.

Der er delvis uenighed omkring emnets detaljeringsniveau, da det ved en af samtalerne også påpeges, at den høje detaljeringsgrad er nødvendig i de tidligere faser. Komponenternes udseende, størrelse, tilslutningernes placeringer osv. har stor betydning tidligt i forløbet. Da det er vigtigt at vide for eksempel om et indblæsningsarmatur tilsluttes fra oven eller siden.

Detaljeringsgraden af slutproduktet er der også uenighed om. Det nævnes i en samtale at én af virksomhederne kun projekterer føringsveje ud og ind til hvert enkelt rum. Til gengæld så går de ikke ned i detaljeringsgraden inde i rummene, da det i sidste ende er entreprenøren, der bestemmer hvilke armaturer, der skal bruges, og i princippet om det skal være 1, 2 eller 4 så længe det opfylder de krav, der stilles til rummet. Rådgiverne leverer altså ikke et tegningsmateriale, der kan bygges ud fra, men et projekt hvor samtlige forbehold er taget. Entreprenøren får materialet efter udbud og får tegnet det videre til bygbarhed.

For netop at kortlægge detaljeringsgrader i de forskellige faser har en af virksomhederne udarbejdet en form for IKT-aftale hvor det er illustreret hvilket detaljeringsniveau der kan forventes på hvilket tidspunkt i projektet.



## **Eksempel: Informationsniveau 2**

For konstruktioner er et etagedæk illustreret som en klods. Det er ikke tegnet mere detaljeret da det alligevel skal laves om. For installationer er det blot simple kasser, der repræsenterer de overordnede føringsveje.

**Projektforslag** (stadig samme informationsniveau) begynder at lave kritiske huller. Installationerne er begyndt at blive delt op på medier stadig hovedføringsveje.

**Forprojekt/myndighedsprojekt** her er der ikke sket meget på ingeniørsiden. Det er mest arkitekten, der har detaljeret.

**Hovedprojekt** alle huller i de bærende konstruktioner er koordineret. For installationer er det den installationskomplette model.

Grunden til at virksomheden har brugt tid på at udarbejde en sådan fremgangsmåde er, at de netop har haft problemer med at der er blevet detaljeret for meget for tidligt.

Det er ikke kun tegneteknisk der arbejdes med detaljeringsgrader. Også beregningsmæssigt bliver detaljeringen øget når de nødvendige informationer er tilgængelige. Det er vigtigt at få klarlagt netop hvilken information, der er nødvendig for at kunne udføre diverse beregninger og derfor er kommunikationen essentiel. Arkitekten skal kunne vide netop hvad han kan forvente at få igen, når der leveres et materiale på et givent informationsniveau, og omvendt skal ingeniøren vide netop på hvilket grundlag der forventes hvad.

Ved en af samtalerne forklares der om vigtigheden af rumklassifikation. Her tages der i den helt tidlige fase udgangspunkt i at arkitekten har defineret / klassificeret rum overordnet (fx CCS, som er et dansk klassifikationssystem, som erstatter DBK i 2014), til kontor, mødelokale osv. Da ingeniøren kender rummets type kan rummets brug skønnes ud fra givne standarder. I termiske simuleringer benyttes opsatte skabeloner for interne belastninger, styringer mv. for den angivne rumtype, og dermed kan indeklimaforhold og varme-/luftbehov bestemmes. Derfra tages der fat i nogle simple 3D tegneredskaber som Revit MEP, Sketchup eller lign. og tegner størrelser på hovedføringsveje og et volumen på teknikrummet. Som det flere gange er fremhævet, så er det her det kan blive dyrt, hvis man er begyndt at tegne for detaljeret i fx MagiCAD og indser at det, der er tegnet ikke kan lade sig gøre eller at arkitekten en uge efter ændrer projektet.

Rummenes klassifikation varer ved gennem hele projektet, så når bygherre specificerer rumkravene yderligere kan simuleringerne detaljeres tilsvarende. Det samme gælder når arkitektens design udvikler sig gennem forløbet. Dette stiller også krav til at klassificeringen defineres meget overordnet. Der kunne fx arbejdes med 3 kontortyper hvoraf type 1 er et storrumskontor, type 2 er enkeltmandskontorer, og type 3 er kontorer på ledelsesgangen, hvor der stilles skærpede krav til indeklimaet.

## Overgang til BIM

Overgangen til BIM kræver ikke kun at tegninger uden anden information end geometri bliver afløst af informationsberigede 3D modeller. Det forudsætter også en ny form for tankegang og virksomhedsstrategi. Det være sig fra en revurdering af fordeling af arbejdsopgaver til efteruddannelse af medarbejderne.

Traditionelt set har det været den tekniske assistents rolle at tegne og ingeniørens rolle at designe. Med BIM-baserede tegneprogrammer ligges der op til en omfordeling af rollerne. Programmerne kan ses som designværktøjer til dimensionering af systemer, der kræver en ingeniørmæssig tilgang.

I dagligdagen er der umiddelbart ikke tid til at sætte sig ind i hvordan en udleveret model kan udnyttes fuldt ud. Det viste sig også at gælde for de unge ingeniører i nogen af virksomhederne, som ikke nødvendigvis har overblikket over, hvordan modellen skal bruges. Her gives udtryk for en frustration over at have en informationsberiget model i form af objektgenskaber eller arealskemaer, som vedkommende ikke er i stand til at udnytte optimalt. Værktøjerne kan virke komplicerede og det er ofte ikke en særlig ligetil proces at få de relevante informationer ud af modellen. Det nævnes bl.a. at der ønskes undervisning i udnyttelse af programmerne, da der arbejdes som der plejes når tiden er knap. Fremgangsmåden i projekteringen har dermed ikke ændret sig særligt fra når der modtages en informationsberiget 3D-model fra arkitekten til at der modtages et traditionelt tegningsmateriale i 2D.

Det er et faktum, der er erkendt af de fleste virksomheder, men det betyder ikke nødvendigvis at alle ingeniører skal omstilles til at bruge de nye værktøjer. Den erfarne ingeniør har typisk faste rutiner, som fungerer efter hensigten, og i dette tilfælde vil der muligvis ikke være nogen gevinst ved at tvinge nye værktøjer ind i disse rutiner. I flere af virksomhederne er specielt de unge medarbejdere frivilligt begyndt at tage værktøjerne til sig, da de ser en fordel i selv at sidde med modelleringen. Især i de områder af bygningen hvor systemerne bliver komplekse, kan det være nemmere selv at modellere, end at skulle kommunikere sine tanker til en teknisk assistent.

En strategi er at efteruddanne medarbejderne, men ikke alle er interesserede i at omstille deres daglige rutiner i det omfang det kræver. Virksomhederne arbejder derfor med at "opgradere" medarbejderne i flere niveauer. I det laveste niveau er medarbejderen måske i stand til at åbne modellen i en viewer og foretage simple opmålinger. Næste niveau kunne være at medarbejderen er i stand til at modellere systemer, og udføre simple beregninger for dimensionering. På øverste niveau ligger BIM-koordinatoren som har det store overblik, og er i stand til at 'kigge under motorhjelm'.

Det at ingeniøren skal kunne designe i de nye værktøjer betyder dog ikke at der ikke er behov for tekniske assistenter. Der vil være nye arbejdsopgaver, som ligger bedre op til at skulle varetages af en person med teknisk viden på området. Overgangen fra model til traditionelt tegningsmateriale i planer, snit og isometri er blot én af dem. Som beskrevet tidligere under 2.2.2 Erfaringer med 3D så er det her at der mødes problemer og mange ressourcer bruges.

### Den 'forkromede BIM-model'

Det er et anerkendt faktum at der er et stort potentiale inden for BIM. Når især softwareleverandørerne præsenterer mulighederne i de nye værktøjer, er der nærmest ingen grænser for, hvad der kan udrettes med BIM. I nogle tilfælde kan det for virksomheden virke for overvældende at skulle sætte sig ind i alle de nye funktionaliteter på én gang. Det er få virksomheder som projekterer og dimensionerer i fx Revit MEP. Dels består kritikken i, at det kræver et stort forarbejde for at have en model hvor korrekte beregninger kan foretages, og dels i, at når der sker ændringer, er det omfattende at rette til. En sådan beregning vil derfor først give mening at lave til sidst i projektet, hvor det forventes at der vil være minimalt med ændringer.

### Kortlægning af designkrav og -parametre

Der er enighed om at informationsmængden er begrænset tidligt i projektet, og at denne stiger gradvist som projektet udvikler sig. Den næste store udfordring er at holde styr på denne information, så den altid er til rådighed, når der er brug for den.

Hos en af virksomhederne arbejdes der med, hvordan bygherrekrav og de informationer, som er relevante for den enkelte rådgiver, sammenholdes.

Som det beskrives, er alt arbejde der laves som udgangspunkt baseret på kundens behov. Hvis kunden fx skal bruge et stort mødelokale med gulvtæppe osv., bliver kravspecifikationen noteret af rådgiver. Nogle informationer kan være modtaget på mail, andre overleveret mundtligt. I bedste fald er der udleveret en tyk mappe hvor kravene er specificerede. Det er under alle omstændigheder svært for rådgiver at holde overblikket over disse data. På større sager kan opgaven forekomme uoverskuelig. Nogle nødvendige data er ikke tilgængelige i det fra bygherre modtagne materiale, og i dette tilfælde er det vigtigt at få stillet de rigtige spørgsmål, for at skaffe den relevante viden.

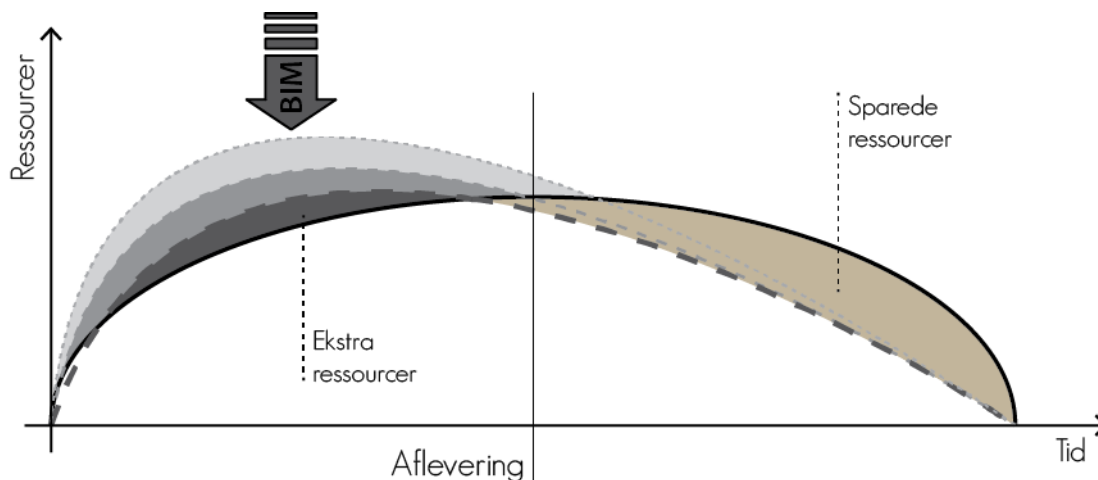
Det er vigtigt at det besluttes netop hvilke informationer der er behov for, for at kunne lave de ønskede analyser. Et rumdatabaseprogram kan benyttes til at arkivere disse informationer fra bygherre. dRofus er et bud på sådan en rumdatabase, hvor alle behov defineres på rumniveau. For hvert rum kan det ønskede antal af stikkontakter, samt antallet af personer, som vil opholde sig i rummet i hvilke tidsrum fx defineres. Det smarte er, at visse informationer kan vedligeholdes af bygherre, og dermed sikres det at der designes efter bygherres behov. For at et sådant værktøj kan fungere, er det selvfølgelig nødvendigt at der opstilles retningslinjer for på hvilke tidspunkter afleveringsfristen for disse krav sæt skal foreligge.

Selvom virksomheden har erfaringer på området nævnes det, at det ville være ønskeligt med en form for standardisering i branchen. Fx hvor bygherre kan få et værktøj hvor der på en liste kan krydses af hvilke behov der er. Det kunne være hvilken rumfunktion, hvor mange mennesker, hvilket brugsmønster osv. Hvis parametrene defineres, så computeren selv kan oversætte data, burde det i princippet være muligt blot at trykke på en knap, for at lave en termisk simulering ud fra de angivne randbetingelser. Dette kræver fælles standarder, så parametrene synkroniseres korrekt mellem programmerne.

Rumdatabaser er noget der er kommet for at blive, bemærkes det. Noget skal ligge i modelleringsprogrammet, og noget skal ligge et andet sted. Det kunne fx være browserbaseret så der er nem adgang fra en hvilken som helst platform. Hvis alt ligger i Revit, giver det erfaringsmæssigt tunge modeller, som er svære at håndtere. Flere databaser der kan kommunikere med hinanden anses derfor umiddelbart som værende en bedre løsning.

## Virksomhedernes visioner

Af de adspurgte virksomheder var der bred enighed om, at projektering i digitale informationsbaserede modeller kommer til at blive endnu mere udbredt i fremtiden. Kvaliteten af det afleverede materiale er højere, og det betyder at projektet fremstår mere klart og bygbar. Dermed kræves i væsentlig mindre grad en opfølgning fra ingeniørens side i udførelsesfasen end normalt. På nuværende stadie er problemet blot at der bruges langt mere tid på at generere dette materiale, og derfor efterspørges der et svar på hvordan der skal arbejdes med værktøjerne for at få højere effektivitet og dermed ordentlig forretning ud af det. Ressourcepuklen tidligt i projektforløbet skal altså ned.



C

ARTIKEL - HVAC MAGASINET 2. UDG 2013

---

Byggeinformationsmodeller

# Anvendelse af BIM i installationsbranchen

BIM (byggeinformationsmodeller) udskifter tekniske tunge stregtegninger med informationsmæssigt rige modeller, der giver et mere færdigt og bygbart projekt. Men det betyder også, at installationsingeniøren skal lære et nyt sæt redskaber at kende

Af René Bukholt og Mads Holten Rasmussen, specialestuderende, Architectural Engineering, DTU

*"Rådgiverne erkender, at tidspres er skyld i mangelfuldt udbudsmateriale. FRI mener, at meget kan forbedres ved brug af digitale modeller." Ingeniøren den 21 dec. 2012*

Erfaringer har vist, at overgangen fra 2D stregtegninger til 3D

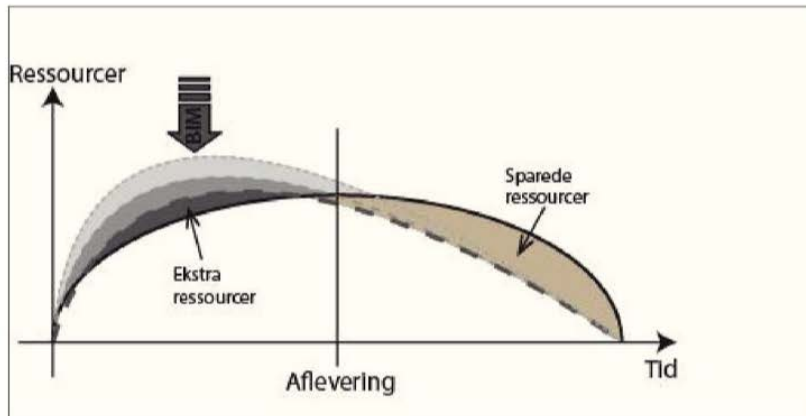
modeller giver et mere færdigt og bygbart projekt, som mindsker revisionsarbejdet i udførelsesfasen. Samspelet mellem de forskellige discipliner kan koordineres betydeligt bedre ved en rummeligt modelleret bygning frem for i udvalgte plan og snit. Det har dog ikke været helt uden komplikationer at gå fra 2D til 3D. En af de større udfordringer er, at der kræves en bedre kommunikation mellem de involverede parter. Komplicerede detal-

jer, der ikke nødvendigvis belyses i traditionel 2D-projektering, kan i 3D blive synliggjort på et tidligt stadie, og dermed er det sværere at skyde problemerne videre frem i projektforløbet, som der tidligere har været en tendens til. Herudover antydes der en manglende forståelse mellem arkitekten og ingeniøren, hvilket er tankevækkende, da disse to faggrupper er og altid vil være dybt afhængige af hinanden.

Disse er nogle af hovedkonklusionerne fra en kvalitativ undersøgelse, hvor nøglepersoner i fem store rådgivervirksomheder er blevet interviewet om deres syn på BIM og hvilke udfordringer, der mødes inden for installationsfagene. Undersøgelsen skal danne grundlag for et specialeprojekt under den foreløbige titel: "Bedre udbytte af BIM (byggeinformationsmodeller) ved design af bygningsinstallationer". Projektet har

---

HVAC magasinet 2. udg. 2013 s. 58



Figur 1: Forholdsmæssigt ressourceforbrug op til aflevering og ved udførelse for rådgiver.

deadline i midt maj, og til denne tid forventes det, at have et bud på et muligt workflow, som underbygger et konkret behov fra branchen.

#### BIM i virksomhederne

Når virksomhederne fortæller

at de arbejder med BIM er det i virkeligheden snarere BM (bygningmodeller) der arbejdes med. Ved ét af interviewene blev det påpeget, at der for hver faggruppe modelleres 3D-modeller, som hovedsagelig bruges til koordinering ved kollisions-

kontrol og mængdeudtræk. Dette er udnyttelse af 3D-modeller, men kan ikke betragtes som en egentlig BIM-proces. I virksomheder er man bevidst om, at potentialet ikke udnyttes fuldt ud, og en af kommentarerne går på at man skal kunne kravle før man kan gå.

Selvom branchen endnu ikke er blevet 100 % fortrolig med en 3D arbejdsproces, så høstes der stadig udbytte af, at projektet er mere gennearbejdet ved aflevering, end det var tilfældet i 2D. Illustrationen (figur 1) viser ressourceforbruget over tid, hvor den sorte streg repræsenterer et traditionelt 2D-projekt og de stiplede et projektarbejde i 3D. I mange tilfælde bruges der imidlertid uforholdsmæssigt mange ressourcer inden aflevering. Dette skyldes bl.a. en manglende forståelse for processen, da unødvendig mange kræfter bruges på at tilrette modellerne. Målet for specialeprojektet er at presse denne ekstra ressourcebyrde ned.

#### Gensidig forståelse for arbejdsprocessen (arkitekt – ingeniør)

”Hvis man bare kunne få en færdig model fra arkitekten i første omgang” – sådan lyder ▶

HVAC magasinet 2. udg. 2013 s. 59

## Byggeinformationsmodeller

### ► Anvendelse...

*Fortsat*

en af kommentarerne til problematikken der opstår, når et gennearbejdet projekt skal tilrettes. Problematikken kan opdeles i følgende kategorier; kommunikation af informationer, afklaring af hvilke informationer, der er nødvendige hvornår, samt hvem, der har ansvaret for at tilvejebringe disse.

Når der er en intelligent styring af informationerne, vil der også i højere grad være en gensidig forståelse for arbejdsprocessen, så en kommentar som ovenstående ikke fremkommer. Det er

disse informationsstrategier, som er grundsubstansen i BIM, hvorfor der i højere grad bør sættes fokus på dette.

Et af de første punkter i samarbejdet mellem arkitekten og installationsingeniøren drejer sig om at arkitekten skal vide, hvor meget plads, der skal afsættes til føringsveje og teknikrum. Det er ofte på et ganske sparsomt tegnings- og, i nogle tilfælde, informationsmæssigt grundlag, at dette skøn forventes givet. Udgangspunktet for overslaget er typisk baseret på bygherrekravene og arkitektens indledende volumen- og areal-disponeringer. Det kræver i mange tilfælde en erfaren ingeniør at kunne komme med et bud på dette. Ved større, komplekse projekter kan det dog være svært at angive et overslag på, hvad den samlede nødvendige luftmængde eksempelvis forventes at være.

På det tidlige stadium vil svaret på arkitektens forespørgsel i de

fleste projekter blive kommunikeret ved et skraveret areal med en touch på en plan. Disse skraveringer fremstår ikke 100 % fastlagte, og derfor sker det ofte at der bliver rykket på stregerne for at få bygherres eller arkitektens behov dækket. Som det påpeges, så ved arkitekten godt, at stregerne er tegnet på den sikre side. Konsekvensen er, at der opstår et kommunikationsproblem, hvor ingeniøren har brugt ressourcer på at få modelleret føringsveje der pludselig ikke er plads til. Så skal der bruges mange ressourcer på at få ændret det.

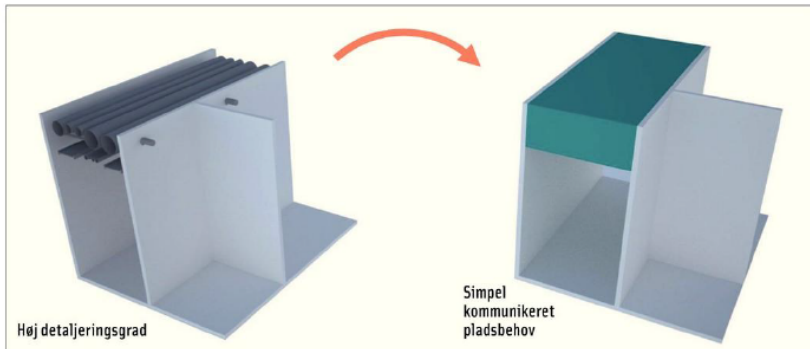
Det hænder også, at arkitekten løbende foretager betydelige designændringer, hvorfor ingeniøren ikke tør gå i detaljen med systemerne før langt henne i projektførelsen. Hvis ingeniøren går i detaljen tidligt i forløbet, opleves det endvidere at det er ressourcerelevende når der senere skal udføres ændringer. Det er i disse tilfælde, at fore-

spørgslen på den færdige model falder.

#### Svært at disponere ressourcerne optimalt

Med udgangspunkt i disse problematikker, er det oplevelsen, at installationsingeniøren har svært ved at disponere ressourcerne optimalt, når der indgås et samarbejde med arkitekten i den tidlige fase. Denne fase er alt andet lige på arkitektens præmisser, men det betyder ikke at ingeniøren skal melde sig ud af designfasen og vente på en færdig model. Det er netop i den tidlige fase, at en vel-fungerende sparring mellem arkitekt og ingeniør kan hjælpe til at optimere bygningens energimæssige performance. Resultatet af en effektiv sparring er, at belastningen af systemerne reduceres, og dette medfører ultimativt noget, der er i begge interesse; nemlig en reduktion af pladsbehov til ka-

HVAC magasinet 2. udg. 2013 s. 60



Figur 2: Fra høj detaljeringsgrad til simpelt kommunikeret pladsbehov. Princip af hvordan pladsbehov kan kommunikeres for at undgå for høj detaljeringsgrad tidligt i projektet.

nålføring, og at der sent i projektet ikke opstår situationer, hvor energiforbruget og indeklimaet skal reddes med dyre løsninger. Figur 2 viser konceptet for, hvordan den nødvendige plads kan kommunikeres ved at definere simple volumener i 3D modellen. Den simple model til højre formidler pladsbehovet på en let forståelig måde, og detaljer uden relevans for modtage-

ren er udeladt. Herved er det let overskueligt for arkitekten og andre faggrupper. Det simple volumen kan virke som en for grov forsimpelse, men de beregninger og analyser, der ligger til grund for dimensioneringen er ikke forsimplede. Tværtimod lægges der op til, at dimensioneringen foregår ud fra resultatet af termiske simuleringer, som giver et bedre billede af forholdene end en sim-

pel statisk håndberegning. Med udgangspunkt i simuleringsresultaterne dimensioneres hovedføringsvejene, og kritiske snit udarbejdes i traditionel 2D. Dermed skabes grundlaget for de simple 3D-volumener. Ved at benytte et på forhånd defineret bibliotek med templates for standardrum, kan de indledende termiske simuleringer udføres ganske hurtigt. I et optimalt BIM-workflow benyttes

den geometriske model som arkitekten allerede har oprettet, og tilbage er at definere de resterende materialeparametre mm. Dette stiller blot krav til, at modellen er inddelt i zoner som afspejler rummernes funktioner. De simple volumener skaber en model som i stedet for at være tegneteknisk tung bliver informationsmæssigt tung, og dette er et vigtigt skridt at tage i retningen mod BIM. Når projektet udvikler sig, og de ydre rammer ligger fast, er det let at påbegynde det detaljerede systemlayout, eftersom den nødvendige plads er sikret på forhånd.

### Strukturering af informationer (BIM)

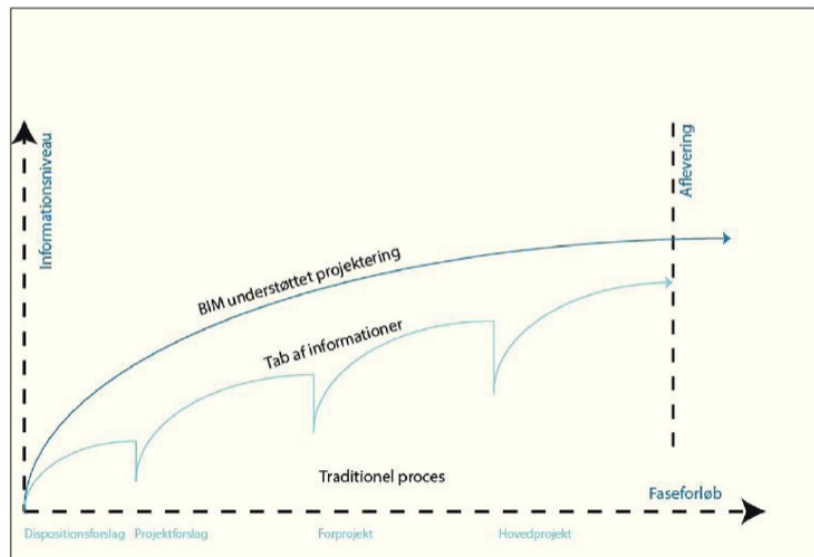
Som det ses på figur 3, vil der i en traditionel proces ske tab af informationer ved faseskift. Hvor der typisk træder nye aktører til ved. Beslutninger taget til møder bliver i værste fald noteret bag øret og i bedste fald nedskrevet i et dokument digi- ▶

HVAC magasinet 2. udg. 2013 s. 61

### ► Anvendelse...

Fortsat

talt eller på papir. Sandsynligheden for at alle informationerne er tilgængelige og gældende er minimal (Kiviniemi, 2005). Herved kan det være svært at overskue om det er gældende informationer systemerne dimensioneres efter. Ved at have en struktur for informationerne kan der opbygges en gensidig forståelse for, at der er en sammenhæng mellem den information, der er til rådighed fra arkitekt og bygherre, og validiteten af det udførte overslag fra ingeniøren. Det skal med andre ord afklares, hvilke informationer, der som minimum skal være til rådighed for at der kan skønnes



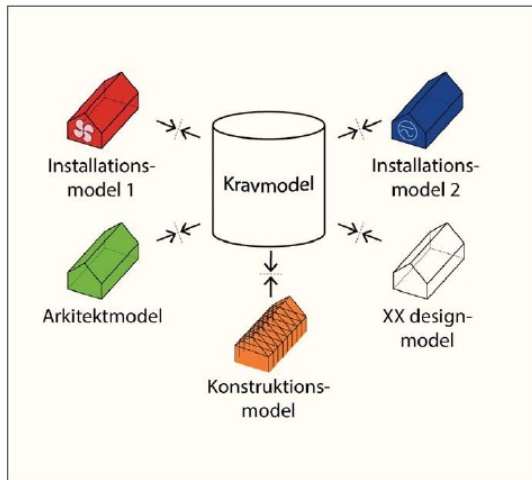
Figur 3: Informationsniveauet op til aflævering af et projekt. (kilde: Informatikken.dk).

pladsbehov til systemerne. For at lagre disse informationer, er det en fordel at benytte

en ekstern database. Der findes flere løsninger på markedet som leverer rumdatabaser,

hvori bygherre, arkitekt og rådgivere på rumbasis kan specificere krav til byggeriet. Gennem

HVAC magasinet 2. udg. 2013 s. 62



Figur 4: Spejling af fagmodellerne op mod kravmodellen.

forløbet udbygges denne database med informationer, og dermed sikres det, at alle relevante informationer altid er til rådighed, hvor der er brug for dem. Hvad der før skulle findes

i mailkorrespondance eller i bedste fald i en tyk mappe med bygherres behov, kan ved denne metode knyttes til det konkrete rum, og være tilgængelig ved et klik med musen.

At bygherre specificerer kravene digitalt giver mulighed for løbende at tjekke, om kravene er overholdt. Der findes programmer, hvori parametre som rumarealer, indeklimaforhold osv. scannes igennem for at se om de overholder de specificerede krav. Dermed kan det hurtigt gennemskues, hvis noget ikke er som det skal være. Dette værktøj fungerer også som en 'stavekontrol' for rådgiver og arkitekt, som løbende kan evaluere deres designløsninger.

#### Afsluttende

Installationsingeniøren skal lære at bruge "early stage" redskaber, der kræves for at udføre hurtige kommunikative svar. Det bunder i en manglende forståelse for arkitektens arbejdsgang, som gør det vanskeligt at følge med i de løbende designændringer. Omvendt kan det siges, at arkitekten skal forstå at med de krav, der stilles til

byggeriet i dag, er det nødvendigt at lytte og bidrage med informationer, så ingeniøren kan udføre et godt stykke arbejde for at byggeriet performer teknisk såvel som æstetisk.

"Vi er begge studerende på Architectural Engineering på 6. år. Derfor har denne form for integreret design, kommunikation og forståelse for arkitektens og ingeniørens behov været en fast indgangsvinkel. Det er derfor vores forhåbning at BIM som ny tankegang kan bidrage til dette, for at den danske byggebranche ikke sækker bagud!"

Kilder: Kiviniemi, A. (2005). *Requirements Management Interface to Building Product Models*.

Palo Alto: Stanford University. [www.informatikken.dk](http://www.informatikken.dk)



# D

## HVACie

---

Dette bilag indeholder et udsnit af rapporten (Hitchcock, et al., 2012). Udsnippet består af 3 procesdiagrammer, som illustrerer en samlet byggeproces med de nødvendige informationsudvekslinger mellem HVAC-ingeniøren og arkitekten. For en beskrivelse af de enkelte delprocesser i et format som illustreret herunder, henvises til rapporten, som er frit tilgængelig på [buildingsmartalliance.org](http://buildingsmartalliance.org).

### *Begin programming*

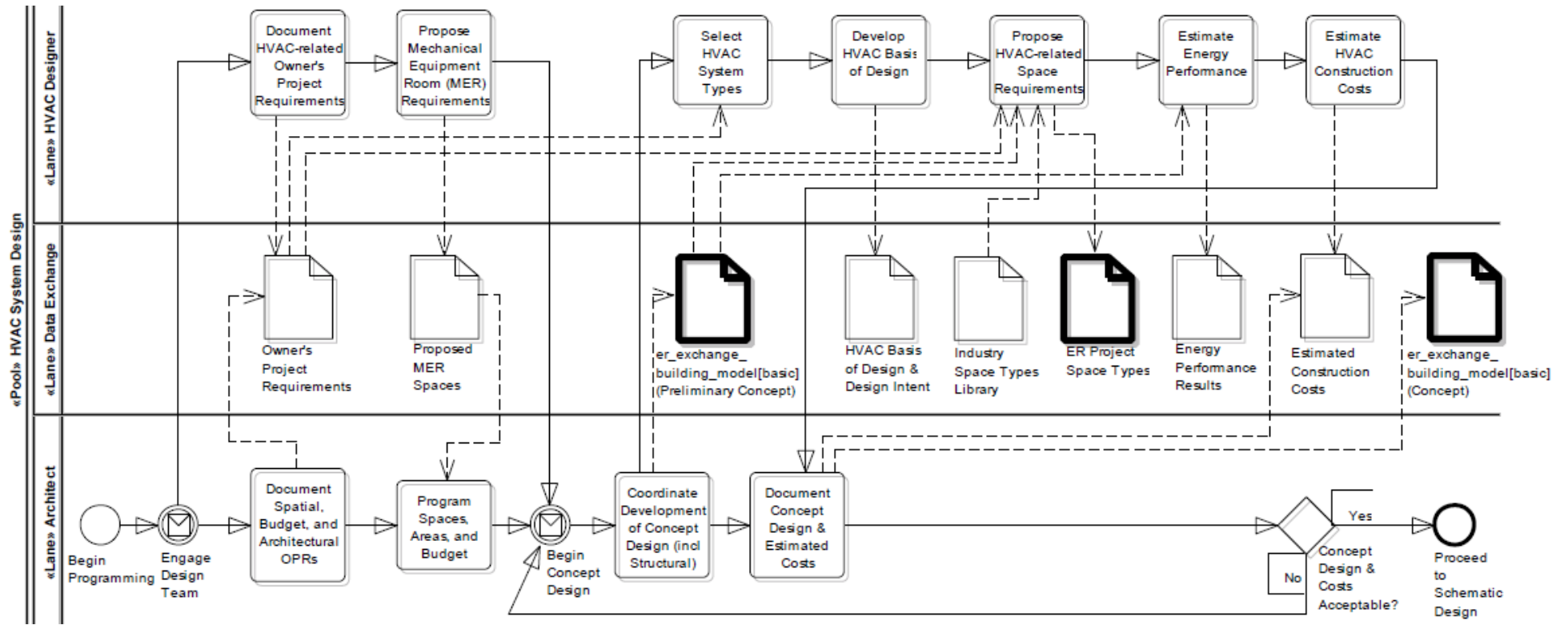
Type	Start Event
Actor	Architect
Documentation	This is the start of project planning and design.

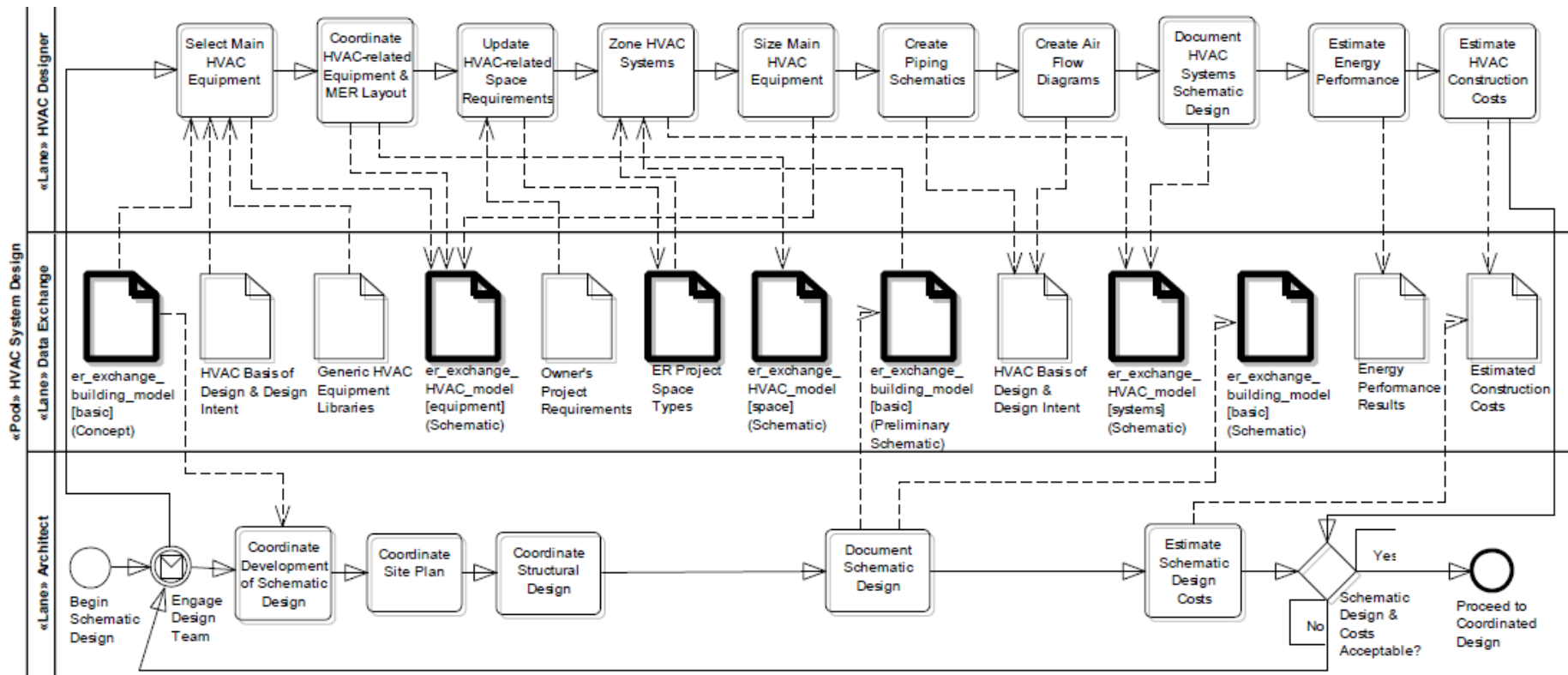
### *Engage design team*

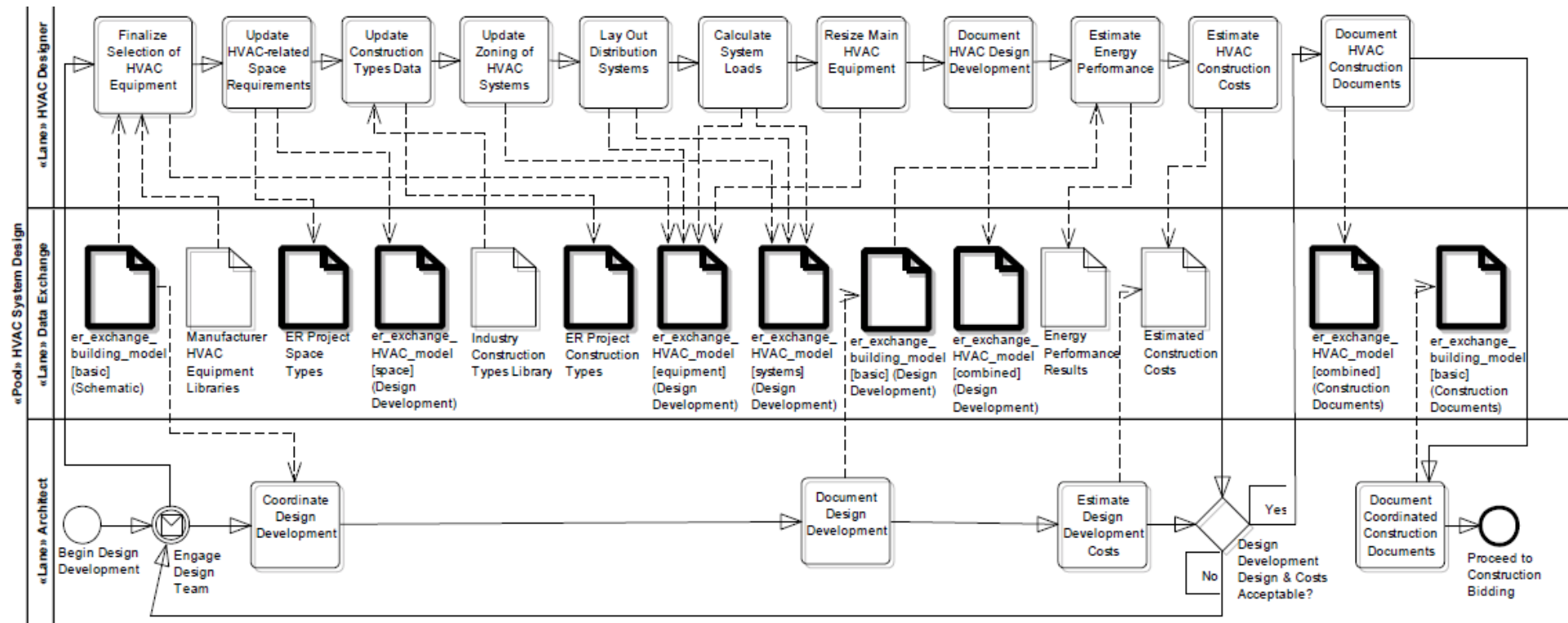
Type	Intermediate Event
Actor	Architect
Documentation	The Architect engages all relevant Design Team members in the Programming process.

### *Document spatial, budget, and architectural OPRs*

Type	Task
Actor	Architect
Documentation	The Architect coordinates Programming and documents resulting Owner Project Requirements (OPRs) that focus on functional space requirements and budget constraints as well as higher-level objectives such as the Owner's desired level of energy-efficiency and aesthetic considerations.



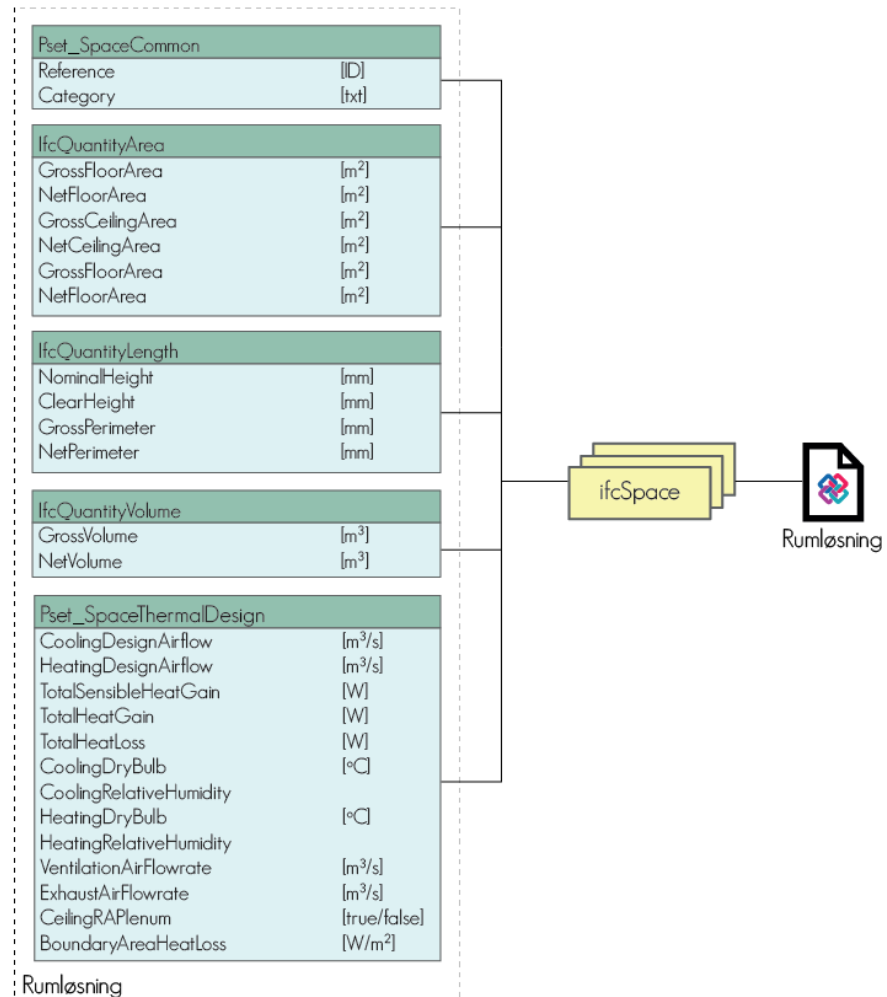
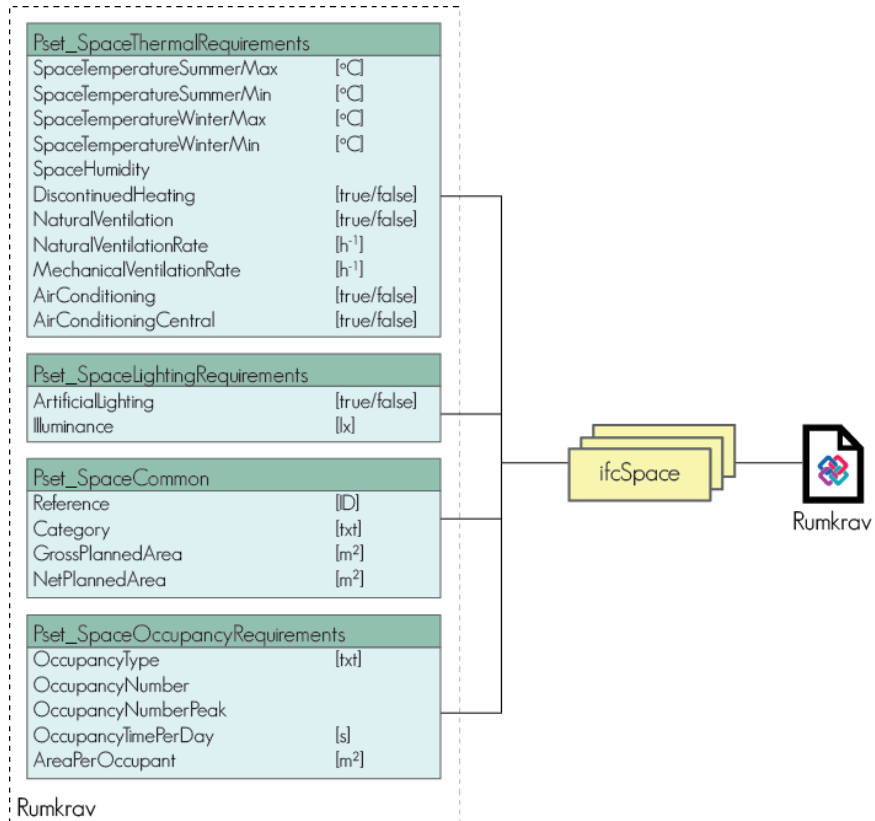


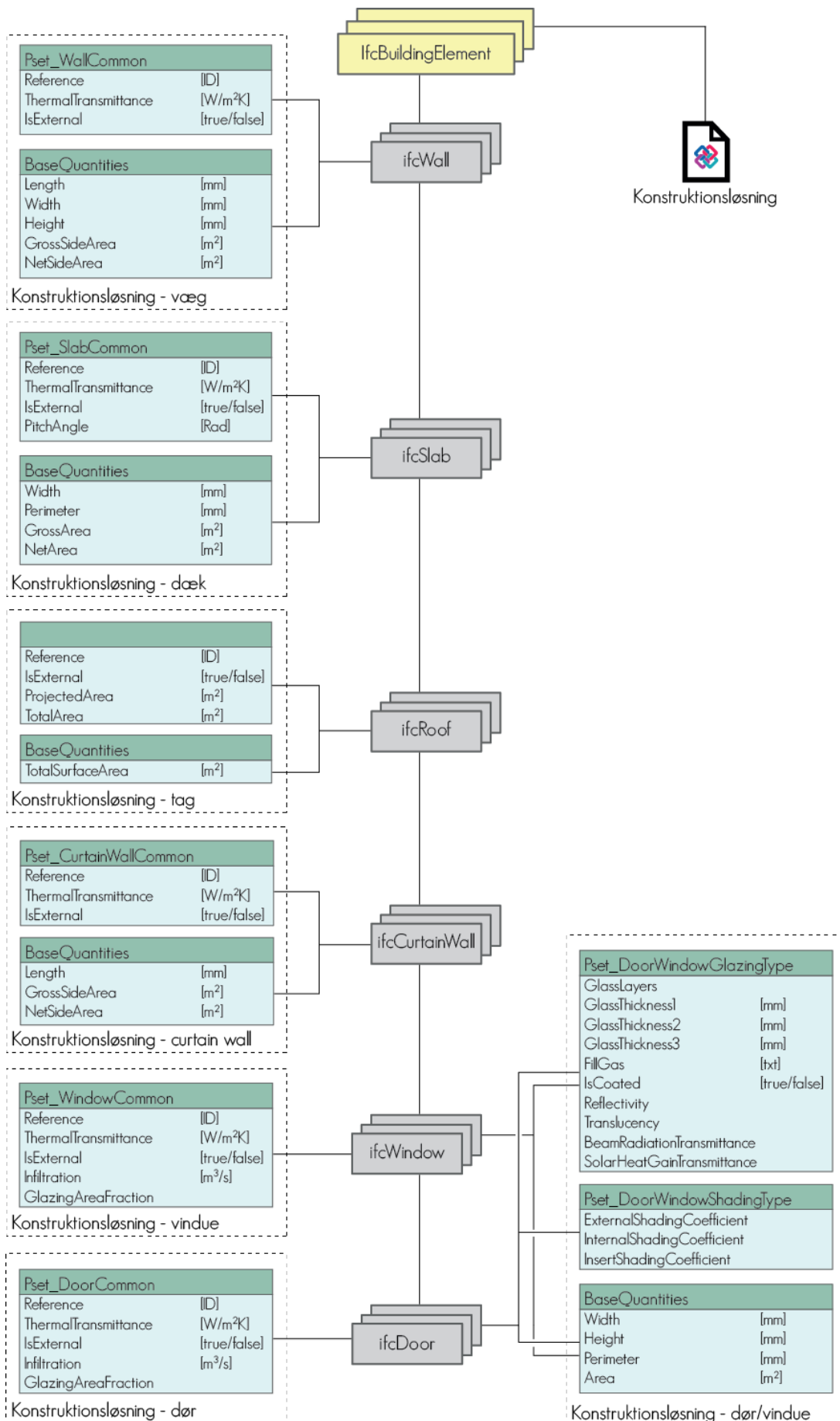


# E

## IFC EGENSKABSDATA

---









# F

## UDVEKSLINGSKRAV

---

Følgende er et bud på udvekslingskrav opdelt af informationsniveauerne 1 til 6 med inspiration fra Cuneco CCS klassifikationen.


Der er udarbejdet 2 skema over udvekslingskrav til og fra arkitekten og HVAC-ingeniøren:

er\_ARK-HVAC

er\_HVAC-ARK

Disse er i henhold til metodikken for en IDM forsøgt beskrevet på en ikke-teknisk uddybende måde, der skal sammenholdes med skemaet XXXX (ISO 29481-1, 2010). Skemaet er en oversigt over det samlede informationsbehov der er nødvendigt for at udføre beregninger og analyser, af termiske og atmosfæriske indeklimaforhold, samt at dimensionere opvarmnings-, ventilations- og kølesystemer, på et givent informationsniveau.




Informationsniveau	Krav til leverancer fra arkitekt til HVAC-ingeniør
1	Der stilles ingen krav til leverancer på dette niveau
2	<p>Såfremt bygherre ikke har udarbejdet et rumprogram, gøres dette af arkitekten i egen brugerflade.</p> <p>Rumtyper angives iht. en kodestruktur hvor type og nummer adskilles af hash-tags:</p> <p style="text-align: center;">RUMTYPE#RUMNUMMER</p> <p>Denne kodestruktur skal bevares hele projektet igennem. Der skal som minimum angives en funktion, et foreløbigt areal og et antal for den enkelte rumtype.</p>
3 	<p>Integreret designproces hvor løbende designforslag valideres af HVAC-ingeniøren, indtil termiske konstruktionskrav, vinduesfordeling og overordnede pladsbehov til føringsveje er fastlagt.</p> <p>Der skal foreligge en simpel objektorienteret 3D-model i IFC-format, hvori rumfunktioner er definerede og kodestruktur fra informationsniveau 2 er benyttet. Der skal i modelleringen være taget følgende forbehold:</p> <p>Rum skal være defineret fra gulv til dæk, hvor nedhængte lofter ikke må fungere som afgrænsning.</p> <p>Hvis der figurerer et rum omkranset af et andet rum, skal det omkransende rum splittes i to ved fx en separation line inden udsendelsen af modellen.</p> <p>IFC-modellen skal indeholde vægge (yder/indervægge), tag, gulv/dæk og vinduer.</p> <p>I det omfang det er muligt skal <i>sketch mode</i> undlades til at modellere vægge og andre elementer da det ikke understøttes i oversættelsen til IFC.</p> <p>Ved eksport af IFC-modellen skal vægge opdeles pr. etage</p> <p>Indikation af "true north"</p> <p>Rumarealer skal fra den objektorienterede byggemodell synkroniseres til den centrale database via ODBC eller ved upload af csv-fil gennem brugerinterface. En automatisk viderefremidling af arealløsning vil figurere hos HVAC-ingeniøren.</p> <p>Det er arkitektens ansvar at koordinere og sammenfatte opbygningen af klimaskærm, dæk og indervægge, ved at sammensætte krav fra ingeniører.</p> <p>Arkitekten skal sørge for at kun gældende konstruktionsopbygninger, der er godkendt og indarbejdet i arkitektmodellen, figurerer i webinterfacet.</p>

	<p><b>Ikke obligatorisk:</b></p> <p>Hvis der er taget stilling til rumlayout, placering af arbejdspladser osv., skal dette fremsendes som plantegning i målestoksforhold. Accepterede formater omfatter pdf, dwg eller andet vektoriseret format.</p> <p>Hvis kontekst i form af omkringlæggende bebyggelse er modelleret, skal denne udveksles som separat IFC-fil.</p>
4	Endelig arkitektmodel indeholdende fastlagte parametre fra informationsniveau 3 samt et detaljeret rumlayout over ophold og arbejdspladser.
5	Der stilles ingen yderligere krav til leverancer på dette niveau
6	Der stilles ingen yderligere krav til leverancer på dette niveau

























































































er\_HVAC-ARK









Informati- onsniveau	Krav til leverancer fra HVAC-ingeniør til arkitekt
1	Der stilles ingen krav til leverancer på dette niveau
2	<p>Såfremt bygherre ikke har taget stilling til nødvendige parametre for bestemmelse af indeklima og energiforbrug, formidles de for beregningerne benyttede antagelser.</p> <p>Kritiske rumtyper i forhold til kølebehov bestemt ud fra steady-state beregning, afmærkes i webinterface.</p> <p>Forventet pladsbehov til teknikrum og kritiske føringsveje udveksles som forventede overslagsdimensioner.</p>
3 	<p>Integreret designproces hvor løbende designforslag valideres af arkitekten, indtil termiske konstruktionskrav, vinduesfordeling og overordnede pladsbehov til føringsveje er fastlagt.</p> <p>IFC-model med resultater baseret på steady-state beregninger på rumbasis, fremsendes til arkitekten, som grundlag for diskussion af passive såvel som aktive strategier til håndtering af indeklima- og energikrav. Modeller indikerer som minimum følgende:</p> <p style="text-align: center;">Kølebehov Opvarmningsbehov Ventilationsbehov</p> <p>Nødvendige konstruktionsopbygninger for opretholdelse af energiramme dokumenteres i webinterface.</p> <p>Termiske egenskaber for vinduer, samt anbefalede vinduesprocenter ifht. orienteringer og rum kommunikerer via webinterface.</p> <p>Ovenstående skal godkendes af arkitekten, før de optræder som gældende krav.</p> <p>Forventet pladsbehov til ventilationssystemet og evt. teknikrum modelleres som simple 3D modeller, og fremsendes som IFC-modeller.</p> <p>Be10-dokumentation for overholdelse af energiklasse.</p> <p><b>Ikke obligatorisk:</b></p> <p>Ved udførelse af termiske simuleringer, skal følgende indeklimatiske forhold som minimum kommunikerer i IFC-rummodeller:</p> <p style="text-align: center;">Makstemperatur Minimumstemperatur</p>

	<p>Solvarmetilskud</p> <p>Total internt varmetilskud</p> <p>Energiforbrug</p> <p>Anbefalede vinduesprocenter og orienteringer kan skrives til IFC-fil som customparametre for visuel formidling.</p>
4	<p>IFC-model med resultater baseret på termiske simuleringer på rumbasis, fremsendes til arkitekten, som dokumentation for gældende indeklimate og energikrav. Modeller indikerer som minimum følgende:</p> <p style="padding-left: 40px;">Makstemperatur</p> <p style="padding-left: 40px;">Minimumstemperatur</p> <p style="padding-left: 40px;">Energiforbrug</p> <p>I kritiske rum dokumenteres overholdelse af lokale komfortkrav i henhold til indeklimaklasse.</p> <p>Rapport for detaljeret dokumentation af bygningens energiforbrug.</p> <p>Medieopdelt distributionssystem modelleres, og fremsendes som IFC-model.</p>
5	Rapport for dokumentation af opnåede resultater ved CFD-simulering.
6	Der stilles ingen yderligere krav til leveringer

Informationsniveau	1	2	3	4	5	6
Grundlag	Overordnede rumtyper fastlagt	Detaljeret rumprogram. Indeholdende krav til rummenes brug. (ingen geometri)	Simpel zoneinddelt geometri. Integreret designproces med arkitekt og fagområderne akustik-, dagslys- og energingeniør.	Endelig arkitektmodel	Endelig arkitektmodel	Målinger af den opførte bygning
Output	Der genereres ikke output på niveau 1.	Første bud på ventilationsbehov, og skøn af systemstørrelse.	Forventede krav til systemer. Foreløbige rumbehov baseret på steady-state beregninger og/eller termiske simulering Krav til konstruktioner og vinduesprocenter Energiramme	Endelige rumbehov baseret på termiske simuleringer. Endelige systembehov. Detaljeret dokumentation af energiforbrug.	Detaljeret eftervisning af indeklimaforhold	Eftervisning

### Funktionskrav

Brugsrum		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rumfunktion   </li> <li>-Programareal   </li> <li>-Indeklimaklasse </li> <li>-Energiklasse </li> <li>-BR10: Ventilation </li> </ul> <p>Eventuelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Personbelastning   </li> <li>-Udstyr </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rumfunktion   </li> <li>-Programareal   </li> <li>-Indeklimaklasse </li> <li>-Energiklasse </li> <li>-BR10: Ventilation </li> <li>-rumareal  </li> <li>-3D model  </li> </ul> <p>Eventuelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Personbelastning  </li> <li>-Udstyr </li> <li>-Brugsmønster  </li> <li>-Naturlig ventilation?  </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rumfunktion   </li> <li>-Programareal   </li> <li>-Indeklimaklasse </li> <li>-Energiklasse </li> <li>-BR10: Ventilation </li> <li>-rumareal (løsning)  </li> <li>-3D model  </li> <li>-Rumlayout (arbejdspladser mm.) </li> </ul> <p>Eventuelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Personbelastning  </li> <li>-Udstyr </li> <li>-Brugsmønster  </li> <li>-Naturlig ventilation?  </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Rumfunktion   </li> <li>-Programareal   </li> <li>-Indeklimaklasse </li> <li>-Energiklasse </li> <li>-BR10: Ventilation </li> <li>-rumareal (løsning)  </li> <li>-3D model  </li> <li>-Rumlayout</li> <li>-Luftstrømninger</li> </ul> <p>Eventuelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Personbelastning  </li> <li>-Udstyr </li> <li>-Brugsmønster  </li> <li>-Naturlig ventilation?  </li> </ul>	
	Klimaskærm			<ul style="list-style-type: none"> <li>-BR10: U-værdier</li> <li>-BR10: Eref</li> <li>-BR10: Ψ-værdier</li> <li>-infiltration</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-BR10: U-værdier</li> <li>-BR10: Eref</li> <li>-BR10: Ψ-værdier</li> <li>-infiltration</li> <li>-Konstruktionsopbygninger  </li> <li>-Vinduesarealer  </li> <li>-Vinduesplaceringer  </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-BR10: U-værdier</li> <li>-BR10: Eref</li> <li>-BR10: Ψ-værdier</li> <li>-infiltration</li> <li>-Konstruktions-opbygninger  </li> <li>-Vinduesarealer  </li> <li>-Vinduesplaceringer  </li> </ul>

				-Solafskærmning -U-værdier  -Vindue g-værdi  -Vindue LT-værdi  -Automatisk åbning  (2x4)	-Solafskærmning -U-værdier  -Vindue g-værdi  -Vindue LT-værdi  -Automatisk åbning  (2x4)	
--	--	--	--	--	--	--

 er\_BYGHERRE

 er\_ARK-HVAC





# G

## IDA ICE TEMPLATE GENERERING

### 1 Overordnet

#### 1.2 Projektdata

Under feltet *Customer* overføres den angivne bygherre, og i feltet *Created by* indsættes initialerne for den bruger der udførte eksporten fra webinterfacet.

#### 1.2 Klimadata

Som udgangspunkt er lokationen defineret som København. Klimadata defineres som syntetiske sommerforhold, og det er meningen at brugeren selv definerer klimadata ifht. hvor bygningen er placeret, hvis en mere detaljeret simulering skal udføres. Som vindprofil benyttes en std. urban.

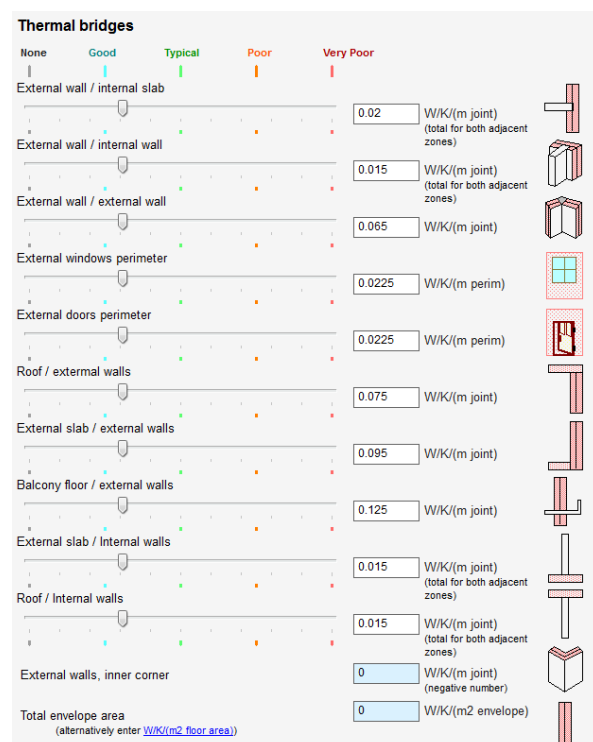
#### **OBS!**

Da klimadata skal downloades til den maskine der afvikler programmet, er det valgt ikke at definere dem i det downloadede template. Derfor skal brugeren selv downloade og definere klimadata. Dette gøres gennem IDA ICE.

Udekonzentrationen for CO<sub>2</sub> er som standard 400 ppm, og derfor bliver denne værdi i eksporten tillagt de max-værdier, som er defineret i databasen. Ved ændring af udekonzentrationen er det vigtigt at den øvre grænse for CO<sub>2</sub> i zoner med CO<sub>2</sub>-styret VAV også tilrettes. Det anbefales ikke at ændre værdien.

#### 1.3 Kuldebroer

Det blev fundet mest hensigtsmæssigt at definere en standard-konfiguration for kuldebroer, som ikke er 0, idet skaden da er mindre i tilfælde af at brugeren glemmer at definere den reelle værdi. Benyttede værdier er vist i illustrationen til højre.



## 1.4 Simuleringsindstillinger

Som standard er det for *Custom Simulation* defineret, at der laves en periodisk simulering over et helt år. Denne simulering er til evaluering af de indeklimatiske forhold i zonerne, og giver resultater af typen *Summary*, som senere kan uploades til webinterfacet for validering. For at skabe et dimensioneringsgrundlag, skal der også udføres simuleringer af typen *Heating load* og *Cooling load*.

IDA ICE opererer med to matematiske zone-modeller: ”*energy model*” og ”*climate model*”. I det genererede template benyttes den simple energimodel, som giver hurtigere simuleringstider.

Klimamodellen har den begrænsning, at den ikke understøtter geometri, som ikke er rektangulær. Til gengæld er den, den eneste af de to, der tager højde for den vertikale temperaturgradient, og derfor bør denne benyttes i rum med fortrængningsventilation. Modellen kan for hele bygningen, defineres under *Default settings* -> *Zone model fidelity*. For en enkelt zone kan modellen defineres under fanen *Advanced*.

I filen der oprettes fra webinterface, gælder nedenstående forudindstillinger for simuleringer:

<b>Heating load (dimensionering af varmeanlæg)</b>	
Mekanisk ventilation	Kører i henhold til defineret schedule (bygningens brugstid defineret af bygherre)
Intern varmebelastning	Ingen
Vejrdata	Syntetiske vejrdata med en fast udetemperatur på -12 °C (dimensionerende udetemperatur iht. DS 418)
<b>Cooling load (dimensionering af køleanlæg)</b>	
Intern varmebelastning	100 %
Beklædning	I henhold til definerede værdier for zoner
Vejrdata	Der simuleres som udgangspunkt på et døgn med vejrdata defineret som syntetiske vejrdata fra København (Maxtemperatur 25 °C). For at opnå et mere nøjagtigt resultat anbefales det at benytte klimadata og simulere på en længere periode (Se 1.2)
<b>Custom (bestemmelse af indeklimaforhold og energiforbrug)</b>	
Type	Periodisk
Tidsinterval	01.01 kl. 00:00 – 31.12 kl. 24:00 (8760 timer). Før denne simulering kan køres, skal bruger definere klimadata (se 1.2).

## 1.5 Energiforbrug

Som standard angives elektricitet som energikilde til køling (COP = 3). Til rumopvarmning og varmt brugsvand benyttes fjernvarme (COP = 1).

Varmtvandsforbruget for bygningen defineres ud fra den definerede bygningstype

Kategori	Varmtvandsforbrug
boliger, kollegier, hoteller m.m.	250 l/m <sup>2</sup> pr. år
kontorer, skoler, institutioner m.m.	100 l/m <sup>2</sup> pr. år

Ved generering af template oprettes *Energy Meters* i IDA ICE, og disse knyttes til de relevante forbrugstyper. Desuden defineres farvekoder for de enkelte resultater, som tilsvarende benyttes i webinterfacet.

Energy Meter + farvekode	Beskrivelse	Type	Primær energifaktor		
			2010	2015	2020
Opvarmning, fjernvarme	Defineret for bygningens generelle opvarmning, <i>Heating - district</i>	District heat/cool Facility	1	0,8	0,6
Opvarmning, el	Defineret for bygningens generelle opvarmning, <i>Heating - electric</i>	Electrical Facility	2,5	2,5	1,8
Varmt brugsvand, fjernvarme	Defineret for varmt brugsvand, <i>Domestic hot water - district</i>	District heat/cool Facility	1	0,8	0,6
Varmt brugsvand, el	Defineret for varmt brugsvand, <i>Domestic hot water - electric</i>	Electrical Facility	2,5	2,5	1,8
Køling	Defineret for bygningens generelle køling, <i>Cooling - electric</i>	Electrical Facility	2,5	2,5	1,8
Ventilation	Defineret for ventilatorer, <i>Fans - electric</i>	Electrical Facility	2,5	2,5	1,8
Kunstig belysning	Defineret for udstyr, <i>Equipment - electric</i> *For boliger regnes forbrug til belysning ikke med i energirammen, og derfor oprettes meteret som tenant.	Electrical Facility / Tenant*	2,5	2,5	1,8
HVAC diverse	Defineret for befugtning og pumper, <i>Pumps – electric, Humidification – electric</i>	Electrical Facility	1	1	1
Udstyr	Defineret for elforbrug til udstyr. Denne er af typen <i>tenant</i> , og registreres derfor for sig (se figur)	Electrical Tenant			
Energiproduktion	Defineret for solceller, vindturbiner og CHP, <i>Photovoltaics – electric, WIND-TURBINE– electric, CHP – electric</i>	Electrical Produced			

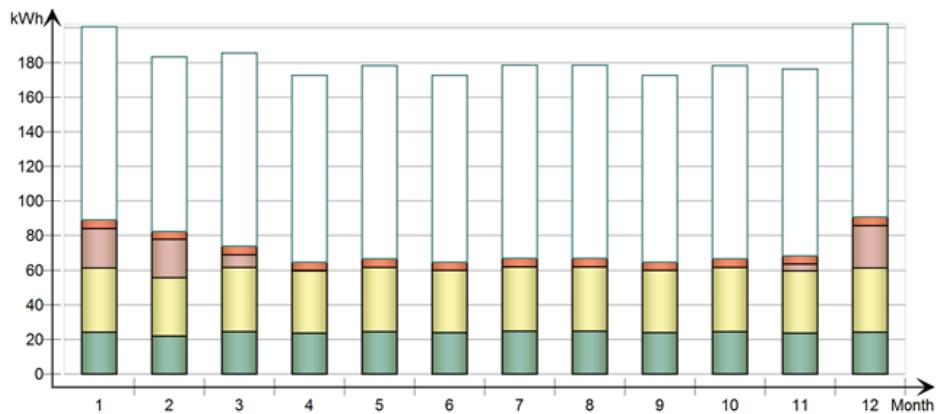
Resultat på bygningsbasis vises i IDA ICE ved under resultater at vælge rapporten *Delivered Energy*. Resultatet opstilles som illustreret på næste side.

Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	48 %
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	48 %
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	18 %

### Delivered Energy Overview

	Delivered energy		Demand	Primary energy	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
<input type="checkbox"/> Køling	0	0.0	0.0	0	0.0
<input checked="" type="checkbox"/> Ventilation	288	28.8	0.03	721	72.1
<input checked="" type="checkbox"/> Kunstig belysning	438	43.8	0.05	1095	109.5
<input checked="" type="checkbox"/> HVAC diverse	0	0.0	0.0	0	0.0
<b>Total, Facility electric</b>	<b>726</b>	<b>72.6</b>		<b>1816</b>	<b>181.6</b>
<input checked="" type="checkbox"/> Opvarmning, fjernvarme	81	8.1	0.14	65	6.5
<input checked="" type="checkbox"/> Varmt brugsvand, fjernvarme	58	5.8	0.01	47	4.7
<b>Total, Facility district</b>	<b>139</b>	<b>13.9</b>		<b>112</b>	<b>11.2</b>
<b>Total</b>	<b>865</b>	<b>86.5</b>		<b>1928</b>	<b>192.8</b>
<input type="checkbox"/> Udstyr	1314	131.4	0.15	3285	328.5
<b>Total, Tenant electric</b>	<b>1314</b>	<b>131.4</b>		<b>3285</b>	<b>328.5</b>
<b>Grand total</b>	<b>2179</b>	<b>217.9</b>		<b>5213</b>	<b>521.3</b>

### Monthly Delivered Energy



## 2 Zone-templates

Ved eksport til IDA ICE oprettes zone-templates for de i projektet definerede rumtyper. De oprettede zoner mappes til den geometriske model gennem IDA ICE.

### 2.1 Overordnede forhold

**Controller setpoints**

[local for zone]

**Room units**

Cooling

Heating

**Furniture**

Covered part of the floor  0-1

Weight / area with furniture  kg/m<sup>2</sup>

Room height  m

**Air**

Select AHU

System type

Supply air for CAV  L/(s.m<sup>2</sup>)

Return air for CAV  L/(s.m<sup>2</sup>)

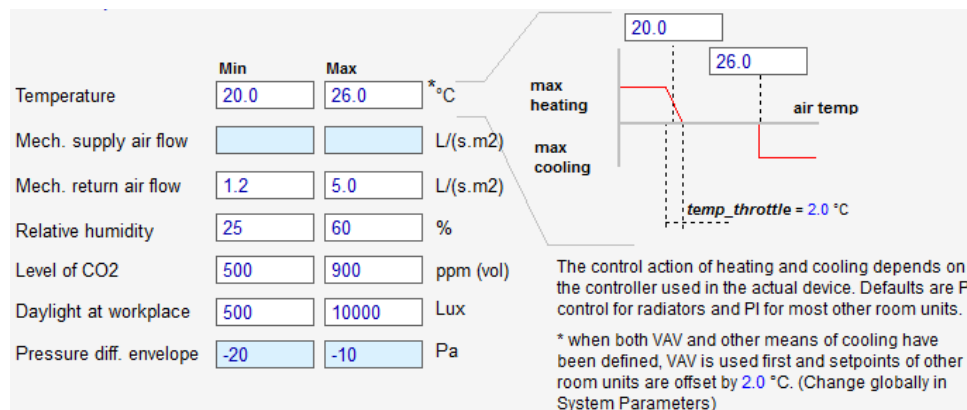
Displacement degree for gradient calculation  0-1

**OBS!**

Fortrængningsventilation er kun understøttet i zone-modellen "energy model", og derfor skal "climate model" vælges hvis der skal tages højde for den lodrette temperaturgradient. I IDA ICE 4.5 understøtter klimamodellen kun rektangulære rum. Se afsnit 1.4 for en beskrivelse af hvordan zone-modellen defineres.

Setpunkter	Disse angives altid lokalt for zonen ud fra indeklimaklasse og rumtype (se 2.2).
Køling	Kun tilladt hvis bygherre har angivet det.
Opvarmning	Alle rum har som udgangspunkt opvarmning.
Møblering	Der tages ikke stilling til møblering.
Aggregat	Som standard vælges det prædefinerede aggregat "Air Handling Unit". Hvis bygherre har specificeret at et rum ønskes ventileret naturligt, vælges der ikke noget aggregat.
Systemtype	Kontrolsystemet for ventilationen angives af installationsingeniøren i informationsniveau 2. (CAV, VAV [luftfugtighed], VAV [CO <sub>2</sub> ], VAV [temperatur], VAV [CO <sub>2</sub> + temperatur]).
Til- og fraluft	Disse felter angives kun hvis der i informationsniveau 2 er valgt CAV. Denne er givet ved behovet for overholdelse af det i EN15251 angivne krav til det atmosfæriske indeklima (minimumsventilation).
Temperaturgradient	I rum med fortrængningsventilation sættes temperaturgradienten til 1. Denne temperaturgradient adskiller sig fra kappa benyttet i overslagsberegningen, idet 1 blot angiver at der er fortrængningsventilation (0 er opblanding). For en gradient angivet af brugeren kan en negativ værdi benyttes.

## 2.2 Setpunkter



Ved angivelse af setpunkter definerer minimumsgrænsen hvornår belastningen skal være 0 % og max hvornår den skal være 100 %. For temperatursættet forholder det sig dog lidt anderledes, idet der her angives et ønsket spænd, inden for hvilket rummet skal holdes. Selve styringen håndteres af P- eller PI-controllere for varmekilder og køleenheder.

Temperatur	Maks- og Minimumstemperaturer er givet ud fra bygherres angivelse af indeklimaklasse, rummets type og forhold i EN15251.
Volumenstrøm, indblæsning	Dette felt efterlades tomt, idet der som udgangspunkt antages balanceret mekanisk ventilation.
Volumenstrøm, returluft	Dette felt angiver mindste og største volumenstrøm ved VAV. Mindste er givet ud fra bygherres specificering af antal personer, programarealet, indeklimaklasse, rummets type samt forhold i EN15251. Hvis ikke bygherre har angivet et særkrav, er største volumenstrøm er givet ud fra en generel tommelfingerregel om maks 6 gange luftskifte i timen.
Relativ luftfugtighed	Setpunkterne for relativ luftfugtighed er givet ud fra indeklimaklasse samt EN15251's krav til rum med af- og befugtning.
CO <sub>2</sub> -koncentration	I IDA ICE er udekonzentrationen som standard angivet til 400 ppm. I EN15251 er kravet angivet som koncentration over udendørs. Ved oprettelse af templates defineres max-setpunkt som krav tillagt 400 ppm. Min-setpunkt defineres til 200 ppm under max.
Dagslys ved arbejdsplads	Minimum angiver grænsen for hvornår elektrisk belysning er nødvendig. Maksimum angiver grænsen for hvornår det elektriske lys slukkes. Maks-setpunktet angives som det for rumtypen definerede krav til belysning ved arbejdspladsen. Min-setpunktet angives som 0, idet belysningen skal være 100 % når der ikke er dagslys til stede.
Trykdifference for klimaskærm	Benyttes ved trykstyret VAV hvor udsugning er styret af overtryk fra de øvrige zoner. Dette felt er blankt ved i det genererede template.

## 2.3 Interne varmetilskud

Internal gains		no./m <sup>2</sup>	Select type and schedule
<a href="#">Occupants</a>	<input type="text" value="0.5"/>		Stillesiddende arbejde - Normal
	<a href="#">Schedule</a>		Kontorarbejde/Undervisning
<a href="#">Equipment</a>	<input type="text" value="0.1"/>		© <Default>
	<a href="#">Schedule</a>		Kontorarbejde/Undervisning
	<a href="#">Energy meter</a>		[Default] Udstyr
<a href="#">Light</a>	<input type="text" value="1"/>		Almenbelysning - LED
	<a href="#">Schedule</a>		Brugstid 100%
	<a href="#">Energy meter</a>		[Default] Kunstig belysning

De interne varmetilskud er svære at håndtere, idet bygherre specificerer det nøjagtige antal personer og antal af forskellige typer udstyr, imens disse i IDA ICE angives som et antal pr. m<sup>2</sup> når et template defineres.

Personer	Antal personer pr. m <sup>2</sup> gives ud fra det af bygherre angivne antal personer divideret med rummets programareal. Da det reelle areal ikke nødvendigvis stemmer overens med programarealet, skal dette eftertjekkes for hver zone. Ved eksport kan installationsingeniøren også vælge at personbelastningen gives ud fra anvisninger i EN15251. Dette er især relevant på niveau 3 hvor alle bygningens rum ikke nødvendigvis er angivet.
Udstyr	Udstyr for zoner oprettes ikke i templates. Alle de typer udstyr, som er indeholdt i projektet oprettes så disse kan tilknyttes de enkelte zoner.
Belysning	Belysningstyper indeholdt i projektet defineres sådan at varmebelastningen svarer til W/m <sup>2</sup> (se 2.6). Derfor angives antallet som 1 stk/m <sup>2</sup> .
Schedules	For personer og udstyr benyttes samme brugsmønster. Belysning antages at være tændt i hele bygningens brugstid. Angivelse af schedules forklares senere.
Typer	De forskellige typer defineres ud fra skabeloner. Se næste.

## 2.4 Personer

Number of people in group: 1

Schedule: [dropdown]

Activity level: 1.2 MET

Clothing

Constant: 0.75 ± 0.25 \* CLO

Schedule: n.a. [dropdown]

[\*clothing is automatically adapted between limits to obtain comfort]

Object

Name: Stillesiddende arbejde

Description: [text area]

Der oprettes skabeloner for brugsforhold, baseret på de definerede rumtyper. I den valgte løsning kan beklædningen for alle rumtyper varieres fra sommerbeklædning (0,5 clo) til vinterbeklædning (1,0 clo), og med hensyn til aktivitetsniveauer, benyttes følgende:

Skabelonnavn	Aktivitetsniveau
Liggende, hvile	0,8 met
Siddende, afslapning	1,0 met
Stillesiddende arbejde	1,2 met
Stående/gående, let aktivitet	1,4 met
Stående/gående, middel aktivitet	1,6 met

**OBS!**

Personbelastningen defineres for templates i enheden personer pr. m<sup>2</sup>. Hvis template oprettes på baggrund af de reelle personangivelser, benyttes programarealet for rumtypen, og derfor kan der være uoverensstemmelser ved mappingen. Det bør derfor krydstjekkes om de korrekte personantal oprettes for zonerne.

Antal	Antallet af personer er som standard specificeret som 1. Som tidligere beskrevet angives det reelle antal som pers/m <sup>2</sup> .
Aktivitetsniveau	Som angivet i tabellen ovenfor.
Beklædning	I henhold til EN15251 tillades denne at variere fra 0,5 (sommerbeklædning) til 1,0 (vinterbeklædning).

## 2.5 Udstyr

The screenshot shows a software interface for defining equipment parameters. The equipment type is set to "PC fladskærm 17-22 tommer". The parameters are as follows:

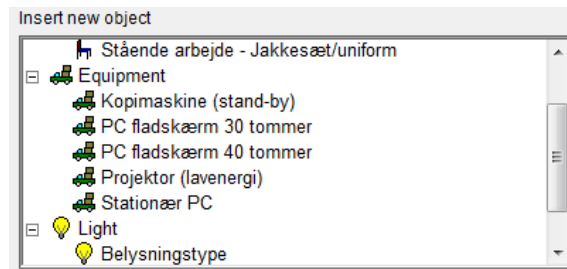
- Number of units: 1
- Schedule: (empty dropdown)
- Emitted heat per unit: 30 W (Note: Only this consumes energy)
- Energy carrier: Electric
- Energy meter: [Default] Equipment, tenant
- Advanced section:
  - Long wave radiation fraction: 0.35 (range 0-1)
  - Liquid water emission per unit: 0.0 kg/s (Note: Emitted as water droplets, i.e. the evaporation heat is removed from the air)
  - Dry steam emission per unit: 0.0 kg/s (Note: Emitted as water vapor, i.e. the evaporation heat is not removed from the air)
  - CO2 per unit: 0.0 mg/s
  - Utilization factor: 1 (range 0-1) (Note: Share of heat and other emissions that are deposited in zone)
- Object section:
  - Name: PC fladskærm 17-22 tommer
  - Description: Tal fra ASHRAE Research Project 1482-RP

Prædefinerede udstyrstyper, er lagret i en tabel i databasen. Ved eksport til IDA ICE oprettes der skabeloner, som tilsvarende de typer af udstyr som er indeholdt i projektet. På denne måde oprettes relevant udstyr, samtidig med at templatefilen holdes ren for udstyr som ikke er relevant for det specifikke projekt.



**OBS!**

Defineret udstyr i projektet overføres til IDA ICE, men det er ikke teknisk muligt at definere udstyret for de enkelte zone-templates. Derfor skal udstyr manuelt oprettes for zonerne, når de er oprettede. Dette gøres ved at højreklikke i feltet *internal gains* og vælge *New object*. Der kan oprettes flere udstyrstyper pr. zone.



Antal	Antallet af enheder er som standard specificeret som 1. Det reelle antal specificeres som tidligere beskrevet på zoneniveau.
Afgivet varme	Den tørre varme som afgives fra udstyret, hentes fra tabellen over udstyr.
Langbølget strålingsandel	Andelen af varme som afgives ved langbølget stråling hentes fra tabellen over udstyr.

## 2.6 Belysning

For belysningen oprettes en række templates for forskellige belysningstyper.

Effektbehovet til belysning af en given middelbelysningsstyrke angives i  $W/m^2$ , og beregnes i iht. lyskildens lysudbytte m.m. (Munck & Clausen, 2008):

$$P = \frac{E}{\eta \cdot \eta_b \cdot v}$$

hvor

P er effektbehovet i  $W/m^2$

E er middelbelysningsstyrken i lux

$\eta$  er lyskildens lysudbytte i  $lm/W$  inkl tab i forkoblinger

$\eta_b$  er belysningsvirkningsgraden

v er vedligeholdelsesfaktoren

Lyskilde type	Lysudbytte [ $lm/W$ ]
Glødepære	12
LED	80
Halogen	18
Lysstofrør	70
Kompaktrør	60
Benyttede antagelser	
$\eta_b$	0,8
v	0,8

Number of units	<input type="text" value="1"/>
<a href="#">Control strategy</a>	Setpoints AND Schedule
<a href="#">Schedule</a>	Brugstid 100% <span style="float: right;">*</span>
Rated input per unit	<input type="text" value="4"/> W <small>[* Schedule smoothing applied. Change in <a href="#">System parameters</a>]</small>
Luminous efficacy	<input type="text" value="80"/> lm/W
Convective fraction	<input type="text" value="0.3"/> 0-1
<a href="#">Energy meter</a>	[Default] Kunstig belysning
<b>Object</b>	
Name	Almenbelysning - LED
Description	Almenbelysning - LED. Det angivne effektbehov pr. enhed dækker over effektbehovet pr. m2. Dette er udregnet ud

**OBS!**

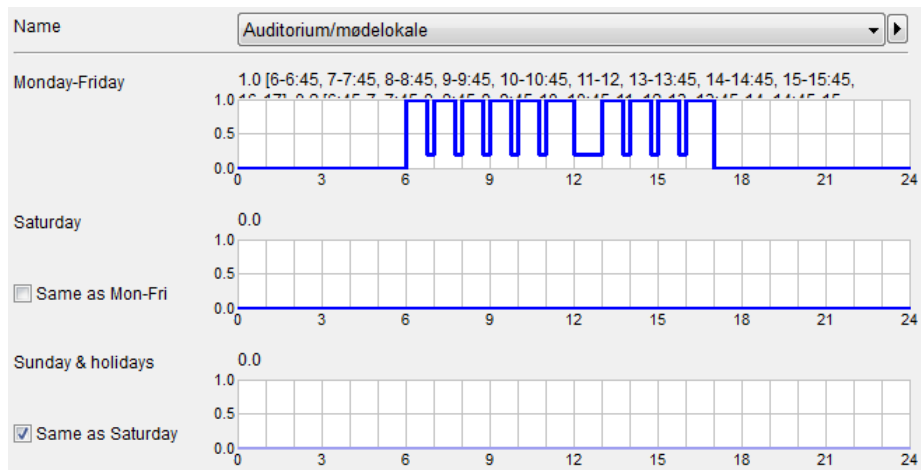
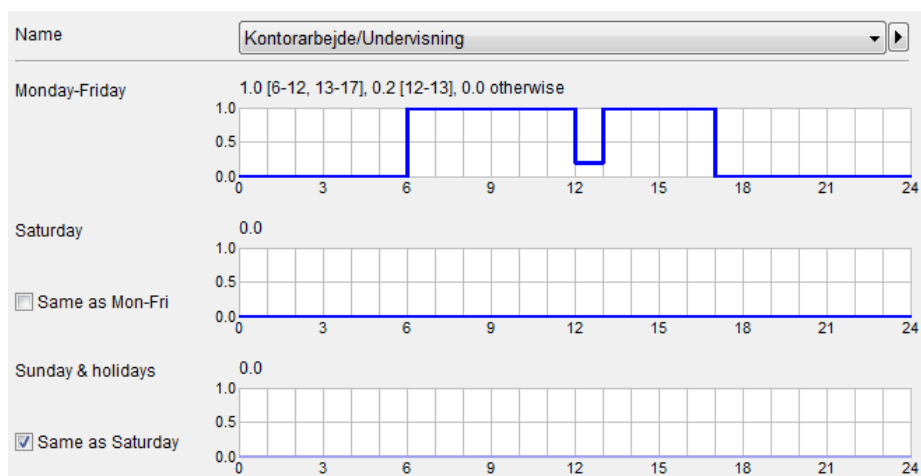
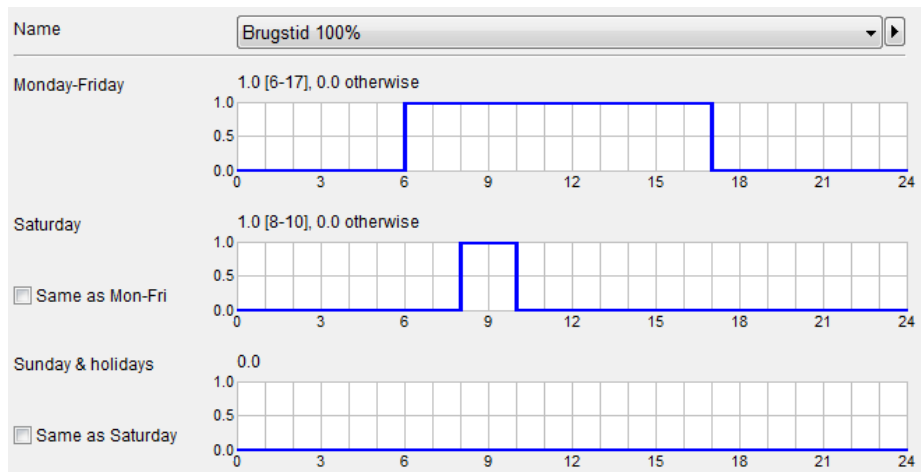
Belysning angives i W/m<sup>2</sup>, og derfor er antallet af enheder lig gulvarealet.

Antal	Antallet af enheder er som standard specificeret som 1. Dette skyldes at effektbehovet reelt er givet i W/m <sup>2</sup> . Antal lyskilder for zonerne defineres som zonen areal (se 2.3)
Styringsstrategi	Defineres som standard til at styre efter setpunkter (se 2.2) og schedule
Schedule	Belysningen defineres som standard til at være til i hele bygningens brugstid (Schedule: Brugstid 100 %)
Afgivet varme	Den tørre varme som afgives fra udstyret, beregnes iht. ovenstående i forhold til kravet til minimumsbelysningen angivet af bygherre.
Luminanseffektivitet	Lysudbyttet angives ifht. lyskilden. IDA ICE tillader ikke lysudbytte større end 80 lm/W

## 2.7 Schedules

Schedules genereres med ydre rammer givet ved bygherres angivelse af den overordnede brugstid af bygningen. Hvis det er specificeret at bygningen benyttes i hverdage fra 7-17, vil dette danne de ydre rammer for samtlige schedules, og ved en angivelse af at brugstiden er fra 6-17 tilrettes disse.

Schedule navn	Beskrivelse
Brugstid 100%	100% belastning i hele bygningens brugstid
Kontorarbejde/undervisning	100% belastning med undtagelse af 12-13 hvor belastningen er 20%
Auditorium/mødelokale	100% i 45 min efterfulgt af 20% i 15 min. Desuden 20% fra 12-13
Kantine	Modsat kontor/undervisning



## 2.8 Avanceret

Under advanced findes konstruktionselementerne og effekten af køle- og opvarmningskilden. Konstruktionerne er ikke relevante at definere på zonebasis, idet der ved import af IFC-filer benyttes en tilgang hvor konstruktionstyper mappes efter deres navn.

Elements of construction	
<a href="#">External walls</a>	[Default] © Rendered l/w concrete wall 250
<a href="#">Internal walls</a>	[Default] © Interior wall with insulation
<a href="#">Internal floors</a>	[Default] Concrete floor 150mm
<a href="#">Roof</a>	[Default] © Concrete joist roof
<a href="#">External floor</a>	[Default] © Concrete floor 250mm

Room unit power	
Cooling	<input type="text" value="0"/> W/m <sup>2</sup>
Heating	<input type="text" value="999"/> W/m <sup>2</sup>

Cooling	Hvis køling er tilladt, angives 999 W/m <sup>2</sup> som køleeffekt (ideal cooler). Ellers 0.
---------	---

Heating	Der angives 999 W/m <sup>2</sup> som opvarmningseffekt (ideal heater).
---------	--

### 3. Konstruktioner

Konstruktionsopbygningen defineres i databasen. De forskellige materialelag og deres egenskaber er indeholdt i en tabel, og de kan tildeles de forskellige konstruktioner. Ved eksport til IDA ICE defineres de nødvendige materialer med deres tilhørende egenskaber, og herefter oprettes de forskellige konstruktionstyper. U-værdi og den samlede vægtykkelse regnes i IDA ICE, og er derfor ikke en overført værdi.

YV1 Ydervæg 0.11 W/m² K 0.528 28.02.2013 AAA

Materiale	Tykkelse	Lag
Inde		
Armeret Beton (	0.120 m	Lag 1
Mineraluld 34	0.300 m	Lag 2
Mangehulssten	0.108 m	Lag 3
Ude		

Kommentar:  
 Størstedelen af ydervæggene er teglstensvægge med 300 mm kl 34 mineraluld og en bagvæg bestående af

Tilføj materialelag Opdater

External wall YV1

Description: Størstedelen af ydervæggene er teglstensvægge med 300 mm kl 34 mineraluld og en bagvæg bestående af

U-value: 0.1079 W/(m²K)

Thickness: 0.528 m

Layers

Floor top/Wall inside

- Armeret Beton (1% stål), 2300 kg/m³, 0.12 m
- Mineraluld 34, 0.3 m
- Mangehulssten 1600 kg/m³, 0.108 m

Floor bottom/Wall outside

Layer data

Material: Armeret Beton (1% stål), 2300 kg/m³

Thickness: 0.12 m

Name	Value	Unit
Heat conductivity	2.44	W/(m ...
Density	2300	kg/m3
Specific heat	1000	J/(kg K)
Category	Other materials	



# H IDA ICE OBSERVATIONER

---

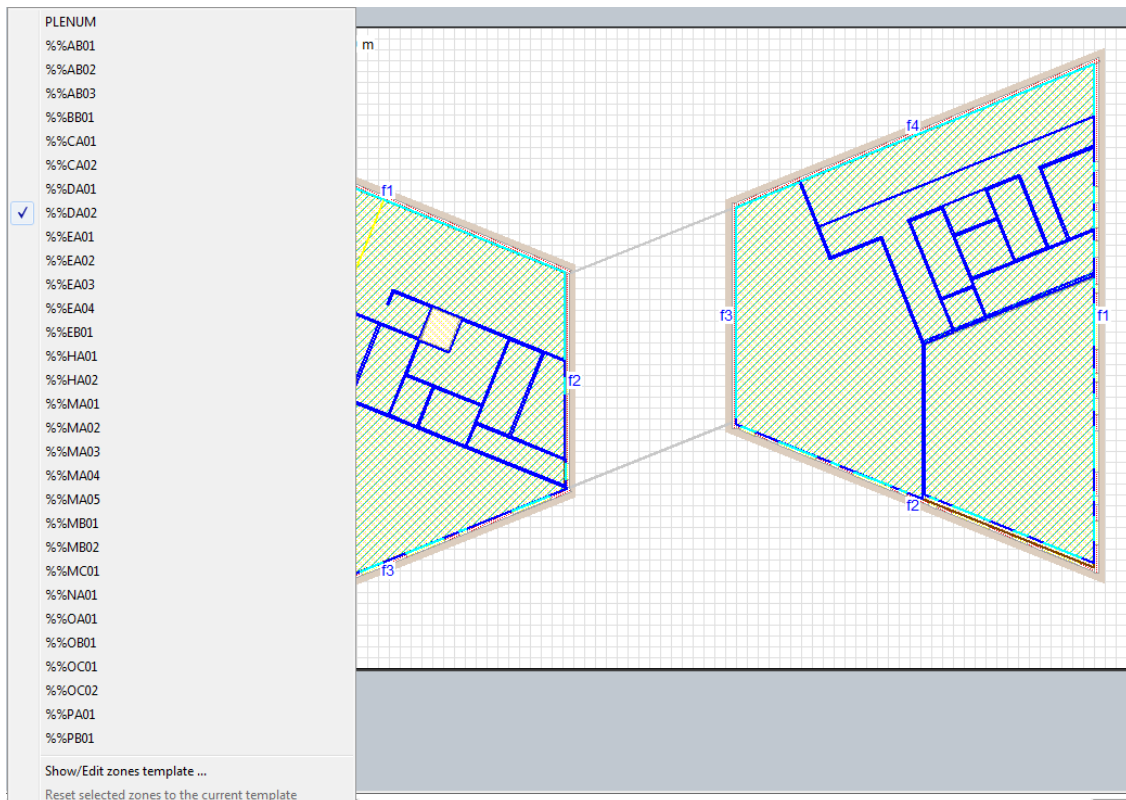
I arbejdet med IDA ICE blev der benyttet nogle funktioner fra et tidligt udviklingsstadiet. Det meste arbejde blev udført i betaudgaven af version 4.5, og med et særligt udleveret script, som ikke er en del af den kommercielle softwarepakke. Udleveringen af dette script skete på baggrund af en aftale med Per Sahlin fra EQUA, som gik på at eventuelle problemer ville blive rapporteret tilbage til udviklerne. I denne forbindelse blev denne minirapport udarbejdet.

## Introduction

Our project is about the benefits of BIM for HVAC-engineers. To get an idea of the actual needs from the industry, a preliminary study was carried out, where key persons from 5 major consulting companies in Denmark were interviewed about the BIM subject. Furthermore, an interview with a person from Bygningsstyrelsen (public building owner) was set up, in order to get an idea of the perception from the other side of the table.

The main challenge was found to be in terms of communication between the involved parties in construction projects, and therefore our goal was to establish an approach that enhances the information flow. We established a web interface, from where developers and owners define requirements for the future building, and the collected data was stored in a MySQL database. By structuring the input, that was given on basis of room types, it was possible to map the requirements with given standards (Mainly EN15251), and the boundary conditions for thermal simulations were established. Furthermore it was possible for us to automatically change the IDA ICE template file, so that all the defined zone templates were available for mapping with an imported IFC-file.

Besides the zone requirements, we added a feature for the HVAC-engineer to define requirements for the constructions in the webinterface, and these were also transferred to IDA ICE.



## Revealed problems/challenges

### Zone definitions

When defining a zone template, we experienced a few complications regarding the internal heat gains. In the database, we have the program, the amount of occupants and an unrestricted amount of different equipment types assigned to the specific room type. When defining gains in the IDA ICE zone template, we have these limitations:

#### **Occupants**

We are able to define different types of occupation based on the room types defined, giving different activity levels and clothing. When assigning a specific amount of persons to a zone we experience problems though. Since the program area is not necessarily equal to the IDA ICE zone area, it's hard to define  $\text{no}/\text{m}^2$ . It would therefore be pleasant to have the ability to define a specific amount.

#### **Equipment**

For equipment, the same problem as for the occupants goes. Furthermore it would be nice to have the ability to assign more than one type of equipment to the room. This is possible afterwards, so the current approach is to define equipment contained in the project, and then manually assign it once the actual zones are defined.



## Construction definitions

When transferring the constructions to IDA ICE, we discovered a problem with the calculated U-values. Since we calculate the U-value in our webinterface, based on the layer definitions, we were surprised to see that IDA ICE didn't show the same results as we got. The problem was discovered to be related to IDA ICE's definition of surface resistances.

In our calculation, we use the following surface resistances:

	Direction of heat flux		
	Up	Horizontal	Down
$R_{si}$	0.10	0.13	0.17
$R_{se}$	0.04	0.04	0.04

It though seems that IDA ICE always uses  $R=0.17$  no matter the direction of the heat flux. This is true for external walls, but not for other constructions.

### Calculated by IDA ICE (both)

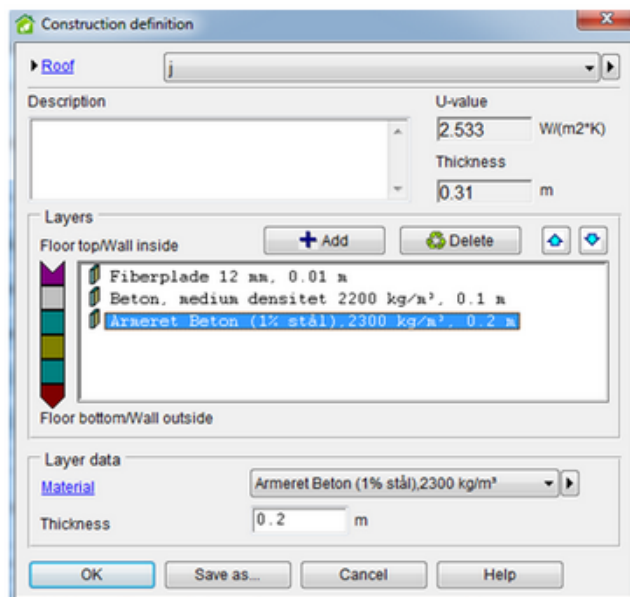
$\lambda$	d	R
0,12	0,01	0,08
1,68	0,1	0,06
2,44	0,2	0,08
$R_{tot}$		0,22
$R_s$		0,17
U		2,533

### Roof, correct

$\lambda$	d	R
0,12	0,01	0,08
1,68	0,1	0,06
2,44	0,2	0,08
$R_{tot}$		0,22
$R_s$		0,14
U		2,741

### External floor, correct

$\lambda$	d	R
0,12	0,01	0,08
1,68	0,1	0,06
2,44	0,2	0,08
$R_{tot}$		0,22
$R_s$		0,21
U		2,300



When defining windows, it would be nice with an option where the area is just based on a certain percentage of the floor area. For early stage simulations, it would also be beneficial to be able to perform multiple iterations in one simulation for subsequent comparison of the solutions. Ie. Glazing area: 5%, 7% and 9%. Orientation: N, S, E, W etc.

## Mapping

When mapping the IFC file with the zone templates it would be nice to have the option of automatically mapping based on the template name. In our approach, we use the upcoming Cuneco Classification System (CCS), giving the following structure. When coding the roomtypes, we use the following structure:

%%MA01

%% meaning that it is a room type, MA meaning it is an office, and 01 meaning that it is an office of type 01.

Say that there are for instance 3 rooms of this type in the project, the names in the IFC file would be:

%%MA01##01, %%MA01##02, %%MA01##03

The mapping would therefore be possible by only looking at part of the ifc room name before the #-tag. We are aware that this approach is only valid for our coding, but maybe something general could be achieved. Besides, by mapping all rooms, the user should be given the option of only simulating on a selection of zones in order to reduce simulation time.

## Future visions

Linking the simulation model directly to a database would give us the ability to push down changes in boundary conditions directly to the model without the need of establishing a whole new model. As we see it, the main strength of BIM is the transparency of the information. By establishing a webinterface where all the current information of a given project is present, both in terms of requirements, decisions and results, we see a great potential.

In order to minimize the simulation time it would be good to have an opportunity to select which zone you want to simulate on. By that it would be much easier to validate a zone while having other zones.

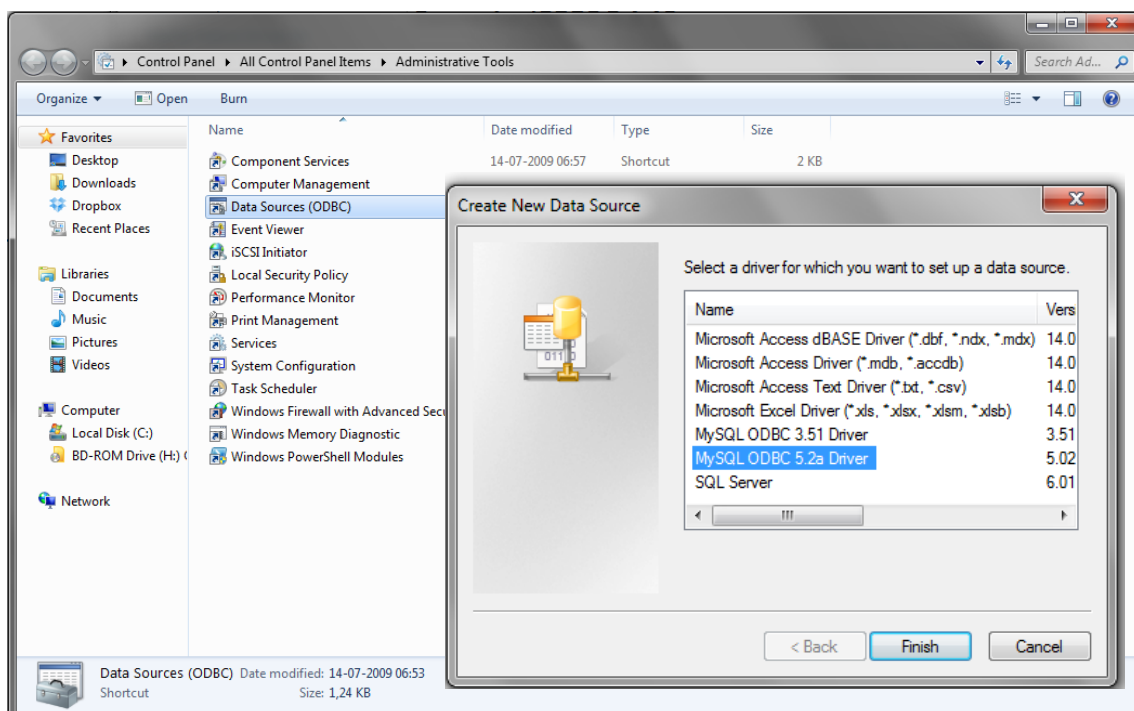
If it could be possible to make a script that can export results to for instance MySQL through an ODBC connection it would be very usefull.

# ETABLERING AF FORBINDELSE MELLEM REVIT OG MYSQL

## 1. Opsætning af ODBC-driver for MySQL

For Revit 2013 anbefaler Autodesk at benytte MySQL ODBC 3.51.12 Driver<sup>1</sup>, men efter flere forsøg blev det erfaret at nyeste version (5.2.4) gav bedre resultater. Begge drivere downloades gratis på dev.mysql.com.

Oprettelsen af en forbindelse mellem computeren og ODBC databasen sker i Windows under kontrolpanelet (se illustration herunder).



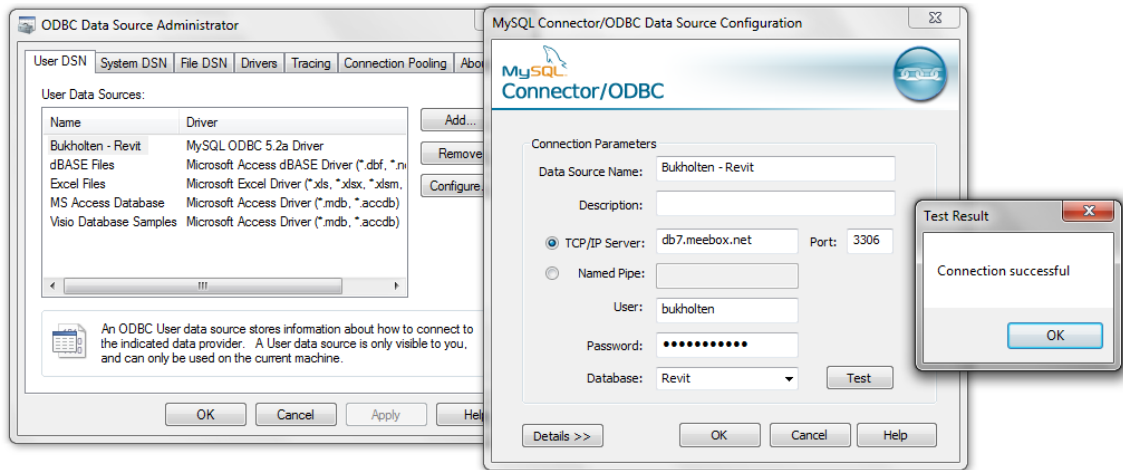
Ved oprettelsen af en ny datakilde figurerer de installerede drivere på en liste. På illustrationen kan det ses at både 3.51 og 5.2.4 var installeret på maskinen.

Det næste step er at etablere forbindelse til databasen. Hvis en lokal server som eksempelvis WAMP benyttes, oprettes forbindelsen blot via localhost. Hvis serveren derimod ikke er lokal, skal der først tilla-

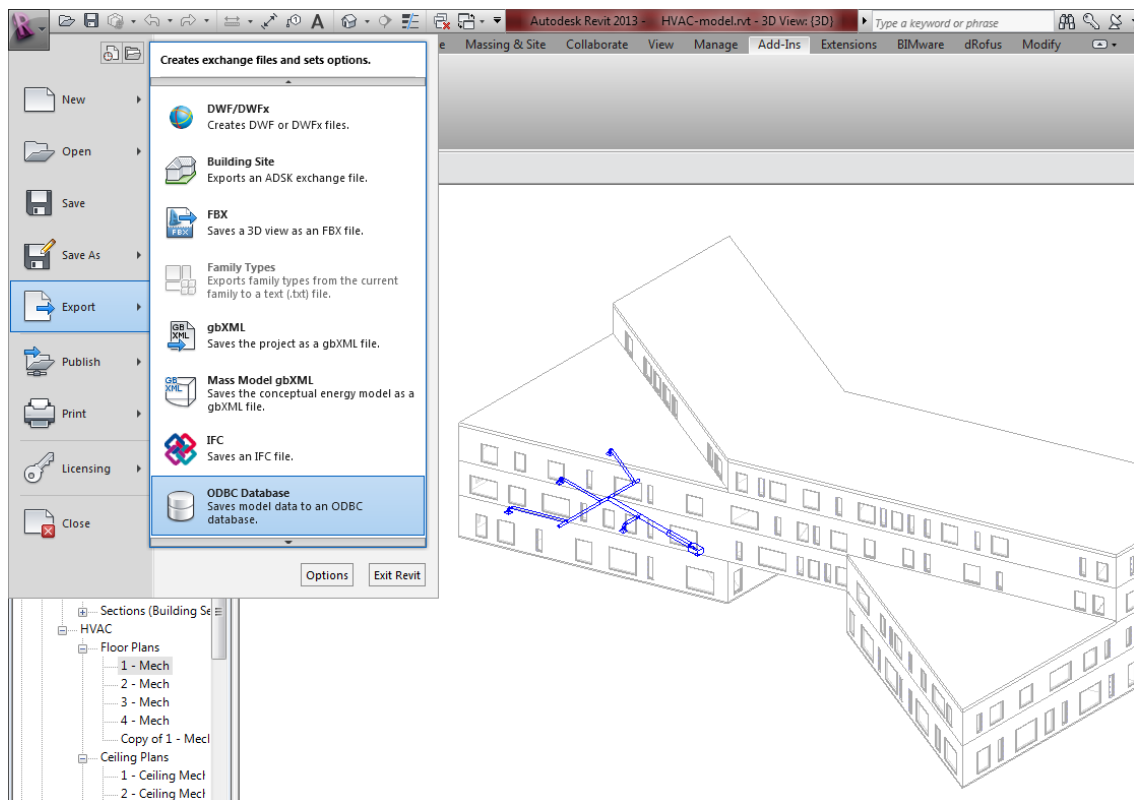
<sup>1</sup>[http://wikihelp.autodesk.com/AutoCAD\\_Map\\_3D/enu/2013/Help/0004-The\\_Esse0/0050-The\\_Open50/0057-Connecti57/0060-Connecti60/0065-Create\\_a65](http://wikihelp.autodesk.com/AutoCAD_Map_3D/enu/2013/Help/0004-The_Esse0/0050-The_Open50/0057-Connecti57/0060-Connecti60/0065-Create_a65)

des fjernadgang. Dette gøres i cpanel eller lignende ved at tilføje computerens ip-adresse under Remote Database Access Hosts. Når adgangen er etableret, kan ODBC-forbindelsen oprettes.

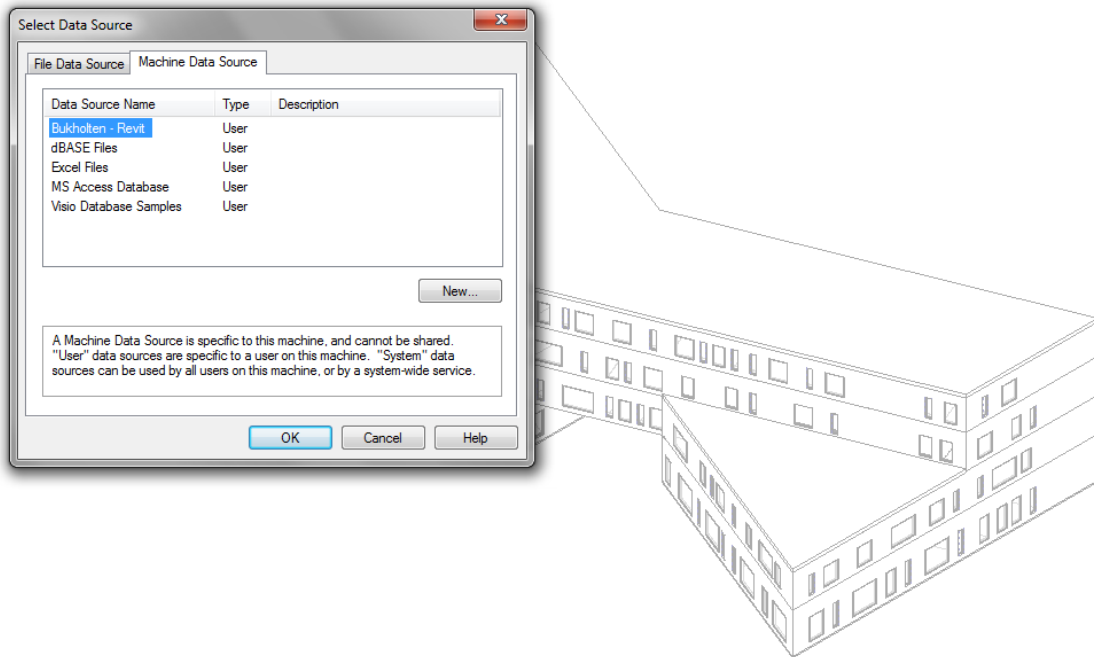
På illustrationen herunder vises hvordan kilden Bukholten – Revit oprettes ved at oprette forbindelse til serveren db7.meebox.net og tilgå databasen Revit.



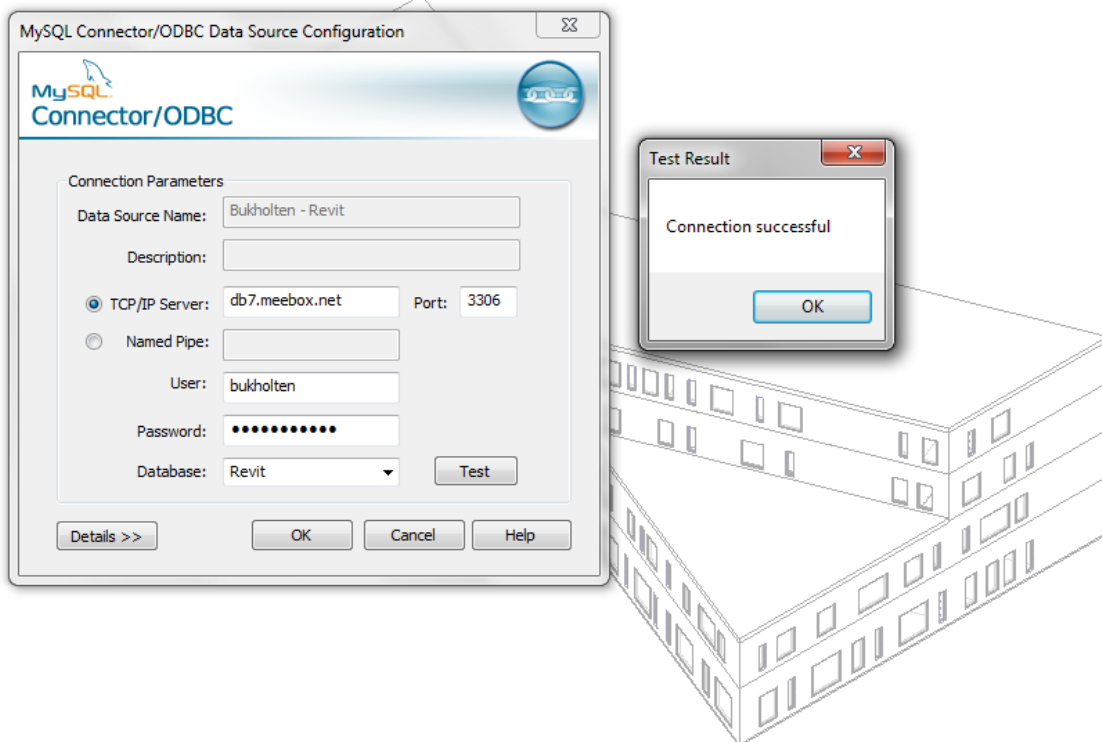
## 2. Eksport af ODBC Database fra Revit



Fra Revit eksporteres databasen via Export -> ODBC Database, og fanen Machine Data Sources vælges. På denne liste figurerer den MySQL ODBC-connection, som blev oprettet.



Med Driver version 3.51 skete der på dette tidspunkt en fejl, men med 5.2.4 lykkedes det at eksportere databasen.



### 3. Tilgang til data

Samtlige 202 tabeller fra modellen er nu tilgængelige i den centrale database, og kan derfor tilgås og præsenteres via enten phpMyadmin eller direkte fra webinterfacet gennem på forhånd definerede views.

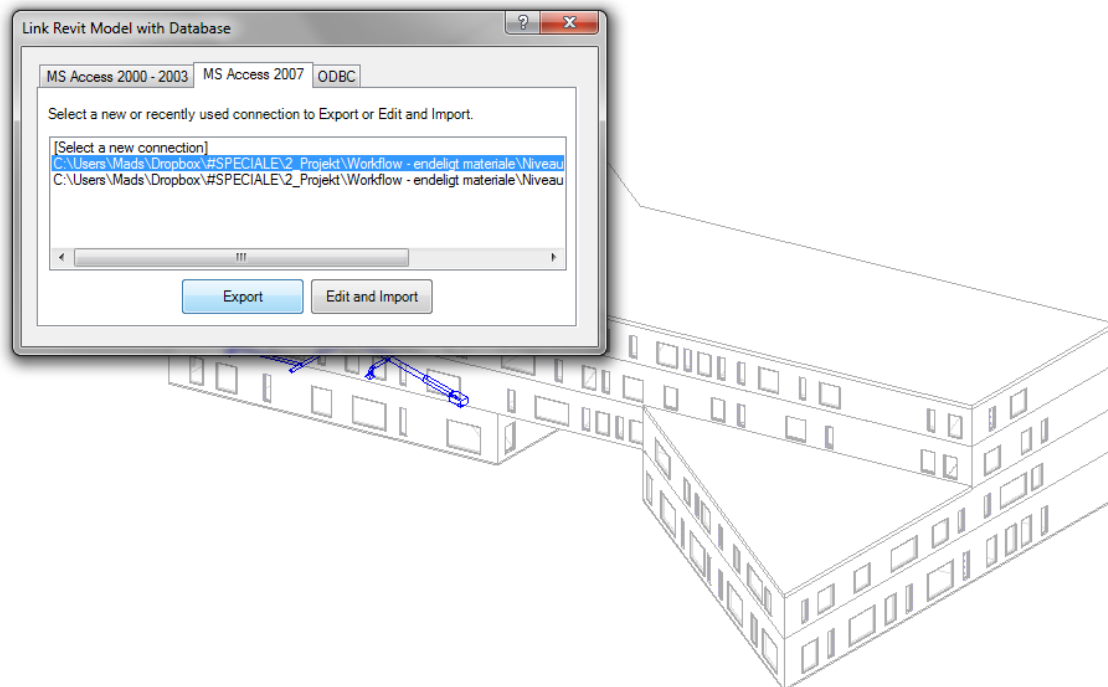


Table Name	Engine	Collation	Size	Rows
Property Line Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	4,1 KiB	-
Railings	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Railing Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	4 KiB	-
Ramps	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Ramp Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	4 KiB	-
Roofs	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Roof Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	5,1 KiB	-
Room Associations	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Room From To Associations	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Rooms	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Security Devices	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Security Device Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Site	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Site Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Slab Edges	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Slab Edge Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	6 KiB	-
Spaces	MyISAM	latin1_swedish_ci	23,1 KiB	101
Space Type Settings	MyISAM	latin1_swedish_ci	6,1 KiB	125
Specialty Equipment	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Specialty Equipment Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Split Profile	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Split Profile1	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Sprinklers	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Sprinkler Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	8 KiB	15
Stairs	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Stair Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	4,3 KiB	4
Structural Columns	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Structural Column Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	6,1 KiB	1
Structural Fabric Reinforcement	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-
Structural Fabric Reinforcement Types	MyISAM	latin1_swedish_ci	1 KiB	-

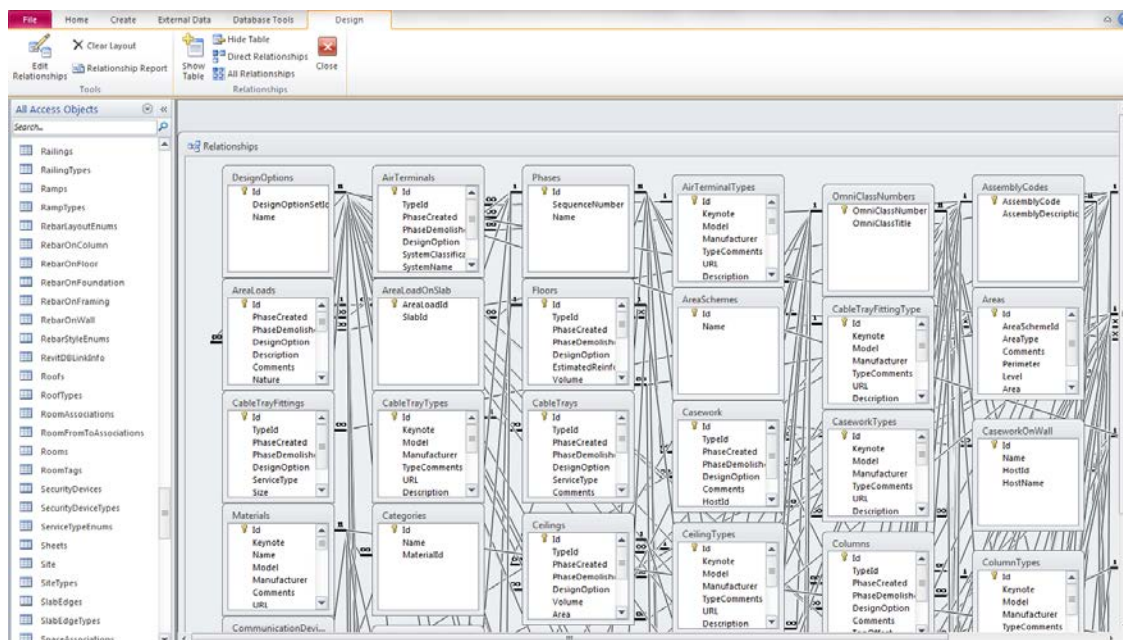
### 4. Eksport til MySQL via MS Access

Der var et ønske om at skabe en to-vejs synkronisering med Revit-modellen, sådan at resultater fra beregninger og simuleringer kunne skrives tilbage, men grundet problemer med værktøjet DB link var dette desværre ikke muligt. I stedet blev det forsøgt at skabe denne to-vejs synkronisering gennem en Microsoft Access 2010 database.

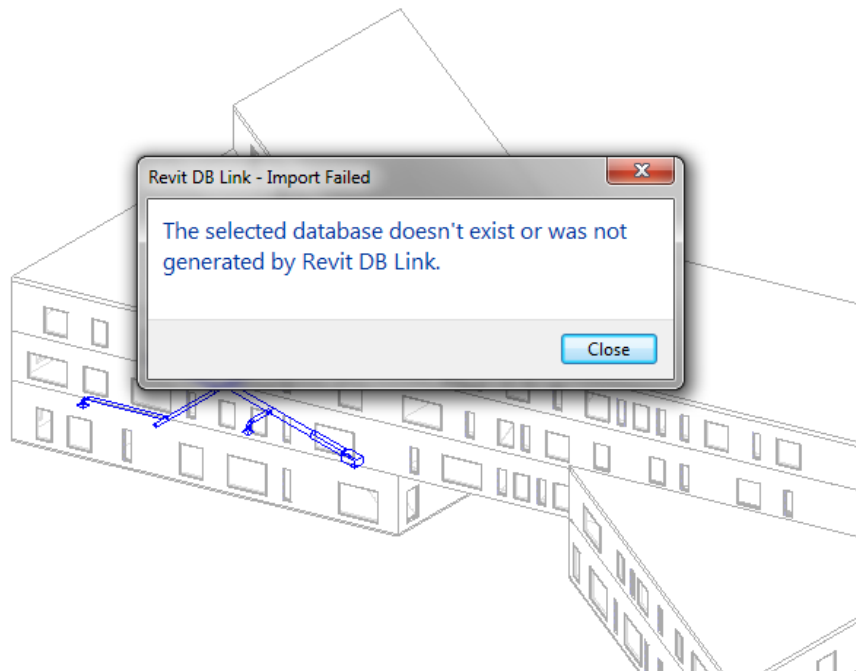
Gennem DB link var det muligt at eksportere modellen til en lokal .mdb-fil, som kan åbnes i Microsoft Access. Synkroniseringen tilbage til Revit blev testet, og da denne forløb fejlfrit, blev det besluttet at arbejde på et workflow som etablerede forbindelse til MySQL-databasen via Access.



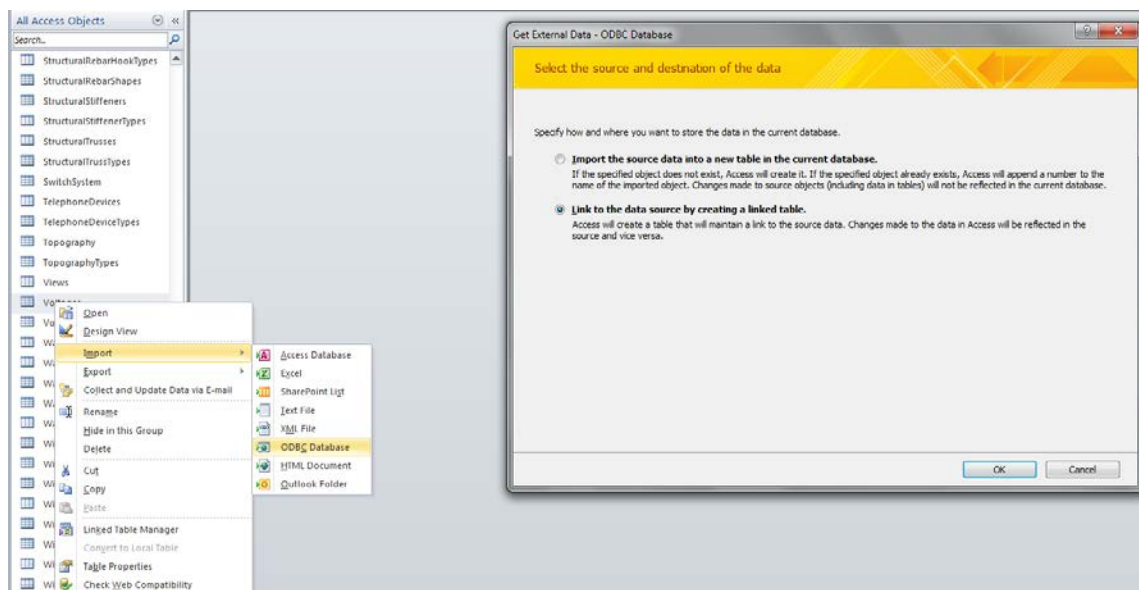
Figuren herover viser hvordan modellen eksporteres til Access. Nogle af tabellerne og deres indbyrdes forhold er på nedenstående figur præsenteret i Access.



Access tillader dynamisk to-vejs synkronisering med en ODBC-database, men kun for tabeller der linkes ind. Derfor blev det forsøgt at linke hele den oprettede MySQL-database ind. Dette krumspring resulterede i en fejlmeddelelse, og derfor måtte der arbejdes med en anden tilgang. Forklaringen på fejlen er sandsynligvis at relationerne mellem tabellerne forsvinder i forbindelse med importen.



I stedet blev det forsøgt blot at linke en enkelt tabel ind uden at erstatte nogle af de eksisterende tabeller.



Dermed var det muligt at have en tabel, med konstant synkronisering til og fra den centrale database. Forbindelsen mellem den linkede tabel og den reelle Spaces-tabel var dog stadig nødt til et ske manuelt, enten via en query eller ved copy-paste af den pågældende kolonne.



WindowTypes	%%NA01##2	Depot	0	0
WindowWall	%%OC01##1	Gang/cirkulatio	0	0
WireInsulations	%%NA01##3	Depot	0	0
WireInsulationTypes	%%PB01##1	VVS Skakt	0	0
WireMaterials	%%BB01##1	Toilet	0	0
WireMaterialTypes	%%OC02##1	Elevator	0	0
Wires	%%NA01##1	Depot	0	0
WireTemperatureRatings	%%MB01##1	Printer	0	0
WireTemperatureRatingTy...	%%MA05##1	Elevadministra	0	0
WireTypes	%%AB02##1	Multirum	0	0
WiringTypeEnums	%%OA01##1	Gang/cirkulatio	0	0
	%%DA01##1	Køkken	0	0
	%%MC01##1	Reception/Gar	0	0

Record: 1 of 101 No Filter Search

Synkroniseringen tilbage til Revit lykkedes uden problemer, selvom der lå en linket tabel uden relationer. Dermed lykkedes det delvist at etablere et link imellem Revit og den centrale database. For at gøre forbindelsen mere dynamisk blev det forsøgt at etablere de direkte relationer fra Space-tabellen til den linke tabel Spaces1, for herefter at slette den oprindelige tabel og omdøbe Spaces1 til Spaces. Denne tilgang fungerede desværre heller ikke. Den optimale løsning ville være hvis Revit DB link fra starten havde fungeret med MySQL via ODBC.

