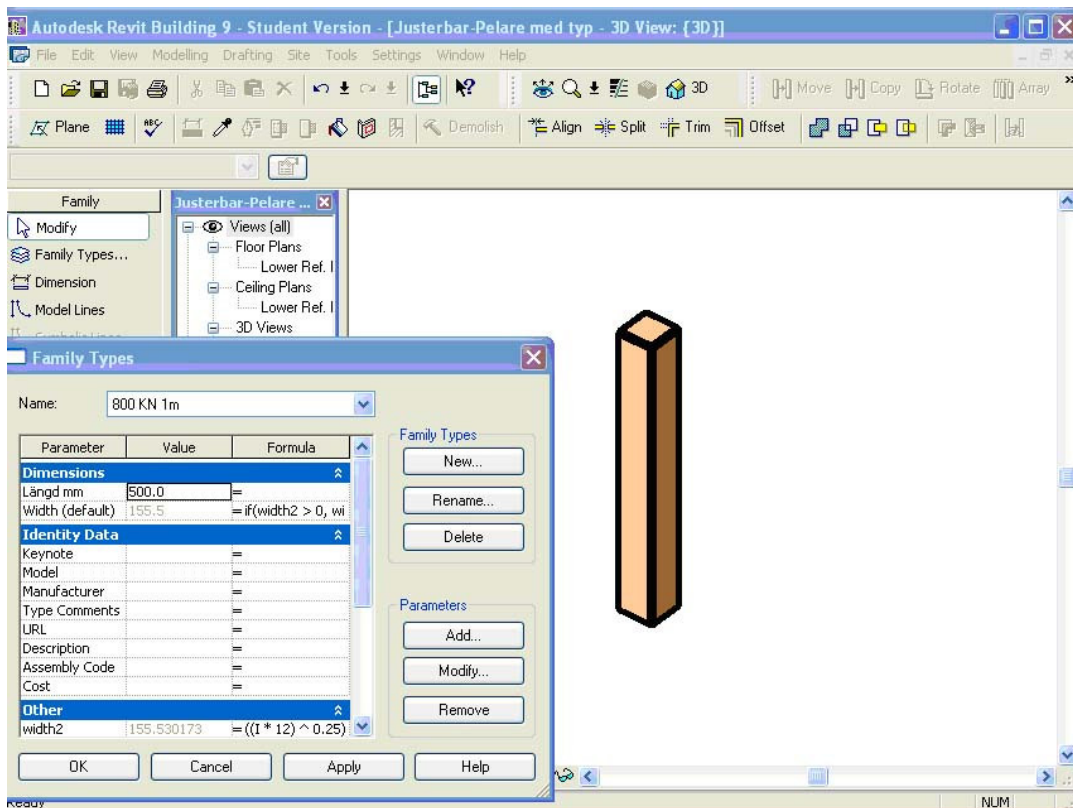


# CHALMERS



## Studier i parametrisk modellering

### 3D-CAD modellering applikationer

**SHAHAB VAEZI**

Examensarbete

*Högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör*

*Institutionen för bygg- och miljöteknik*

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2007

Rapport nr. 2007:45



Examensarbete 2007:45

# **Studier i parametrisk modellering**

3D-CAD modellering applikationer  
Shahab Vaezi

*Institutionen för bygg- och miljöteknik*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2007

# **STUDY ABOUT PARAMETRIC MODELING**

3D-CAD modeling applications

Shahab Vaezi, 1966

© Shahab .Vaezi

Diploma thesis: 2007:45

Department of Civil and Environmental Engineering

Chalmers University of Technology

SE-412 96 Göteborg

Sweden

Telephone + 46 (0)31- 772 1000

Omslag:

En 3D vy av min justerbara pelare i Autodesk Revit Building

Chalmers

Göteborg, Sweden 2007

## Sammandrag

Detta examensarbete har utförts på Visualiseringsstudion vid Chalmers Tekniska Högskolan i Göteborg. Min uppgift var att arbeta fram ett smart 3D-CAD objekt med hjälp av programmet Autodesk Revit Building.

Examensarbetet består av tre delar. Syftet med del 1 är att ge en övergripande bild av modeller och olika modellerings teknik och en lite mer detaljerad undersökning i den parametriska modellering tekniken. Del 2 har som uppgift att ge en övergripande bild av datastöd i byggbranschen med fokus på grunderna för skapande av nya smarta objekt med programmet Autodesk Revit Building. I del 3 används det som vi har lärt oss i del 1 och del 2 plus lite till för att skapa en justerbar pelare med hjälp av familj redigeringsprogrammet i Revit Building.

Arbetet genomfördes genom litteraturstudier och kontakt med experter i respektive område. En viktig slutsats är att även om koncepten BIM, Building Information Modeling, är en bra idé men att skapa smarta objekt är fortfarande komplicerad process i 3D parametrisk CAD system. Dessa 3D-CAD applikationer måste utvecklas och förbättras för att nå bättre resultat.

Nyckelord: Matematisk modellering, Parametrisk modellering, Familj, Revit

## **Abstract**

This thesis is performed at visualization studio at Chalmers University of Technology in Gothenburg. The purpose of this degree thesis was to create a 3D-CAD object with Autodesk Revit Building.

This master thesis work consists of three parts. The goal of part one is to give an overriding picture of modeling and a more detailed picture of parametric modeling for building. The goal of part two is to give an overriding picture of computer aided in building construction and a more detailed picture of object creating process with Autodesk Revit Building. And finally part three explains the process of creating an adjustable column with family editor in Revit Building.

This work is done by literature study and computer work. The most important conclusion of this project is that even if the BIM concept, a shared model representing the entire construction process, is good idea but the process of creating new objects with 3D-CAD parametric modeling applications like Autodesk Revit Building is still complex process and takes a lot of time.

**Keywords:** Mathematical modeling, Parametric modeling, Family, Revit

## **Förord**

Examensarbetet 11p ingår i Byggingenjörutbildningen 120p vid Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. Ett stort tack vill jag utdela nu till alla som hjälpte mig, direkt genom samtal och e-post eller indirekt med deras artiklar och verk, under arbetets gång. Ett särskilt tack till mina lärare och handledare på visualiseringsstudion speciellt Börje Westerdahl som genom att ge mig, förutom vägledning och bra kritik, mycket valmöjligheter och eget ansvar underlättade och möjliggjorde arbetet.

Shahab Vaezi

Göteborg  
2007-06-15

## Innehållsförteckning

<b>SAMMANDRAG</b> .....	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>I</b>
<b>FÖRORD</b> .....	<b>II</b>
<b>BETECKNINGAR OCH BEGREPP</b> .....	<b>IV</b>
<b>1. INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
<b>DEL 1</b> .....	<b>2</b>
<b>2- INLEDNING</b> .....	<b>2</b>
2.1- MODELLER OCH MODELL TYPER.....	2
2.2- MATEMATISKA MODELLER.....	3
2.2.1- <i>Klassificering av matematiska modeller</i> .....	3
2.2.2- <i>Parametrisk &amp; Dynamisk Modellering</i> .....	4
2.2.2.1-TEORI .....	4
2.2.2.2-Program .....	6
<b>DEL 2</b> .....	<b>9</b>
<b>3- INLEDNING</b> .....	<b>9</b>
3.1- DATASTÖDD I BYGG, 3D-CAD .....	9
3.2 BIM OCH BOB .....	9
3.2.1- <i>BIM</i> .....	9
3.2.2. <i>BOB</i> .....	11
3.3- AUTODESK REVIT.....	11
3.3.1- <i>Familj &amp; Familj redigerings program (Family editor)</i> .....	11
3.3.2- <i>Share, family, instance och type parametrar</i> .....	14
<b>DEL 3</b> .....	<b>17</b>
<b>4- INLEDNING</b> .....	<b>17</b>
4.1- KUNSKAP FRAMKALLANDE FAS (KNOWLEDGE ELICITATION PHASE) .....	17
4.2- DESIGN FAS (DESIGN PHASE).....	18
4.3- GENOMFÖRANDE FAS (IMPLEMENTATION PHASE) .....	18
4.4- VERIFIERING FAS (VALIDATION PHASE).....	23
<b>5- AVSLUTNING</b> .....	<b>25</b>
<b>6- REFERENSER</b> .....	<b>26</b>
<i>Litteratur</i> .....	26
<i>Muntliga källor</i> .....	26
<i>Elektroniska källor</i> .....	27
<b>BILAGOR</b> .....	<b>28</b>
BILAGA 1 .....	28
BILAGA 2.....	29
BILAGA 3.....	30
BILAGA 4.....	31
BILAGA 5.....	32



## Beteckningar och Begrepp

**Design intent :** När ett objekt utsätts för en kraft eller förändring kommer dess form att ändras detta kallas objekt beteende, men även hela konstruktionen påverkas och ändras vilket är design intent. Design intent bestämmer hur objekt i en modell ska ändra sig i förhållande till varandra då något ändras.

**Family:** Familj, en samling av objekt i Autodesk Revit Building med samma grund egenskaper. Exempel på familjer är väggar och dörrar.

**Family Editor:** Redigeringsprogram för att skapa eller göra ändringar i befintliga objekt (family) i programmet Autodesk Revit Building.

**Solidmodellering:** Solidmodellering innebär att objekt presenteras som solida kroppar till skillnad från ytmodellering där objekten ser ut som oändligt tunna skal.

**System:** Ett objekt eller en samling objekt vars egenskaper vi vill studera.

# 1. Inledning

Detta kapitel beskriver bakgrund, syfte, avgränsningar och metod som använts i arbetet.

## 1.1- Bakgrund

Parametrisk modellering används i många branscher vid utveckling av nya produkter t.ex. inom bil och maskinindustrin. En undersökning av möjligheten att skapa nya objekt som dessutom kan ändra sin form och storlek med avseende på vissa indata eller parametrar, såkallad smarta element, var intressant för Visualiseringsstudion vid Chalmers tekniska högskolan i Lindholmen. Exempelvis att vid modellering i Autodesk Revit kunna ange last storleken på en pelare och programmet ska då själv göra en första preliminär bedömning på pelarens tvärsnitts area.

## 1.2- Syfte

Syftet med detta examensarbete är dels att använda den parametriska programmering funktioner som finns i Autodesk Revit Building för att skapa såkallad smarta element, och dels att kunna analysera bakomliggande teorier för parametrisk modellering.

## 1.3- Avgränsningar

Ett problem med att genomföra arbetet var att hitta bra och pålitliga informationskällor. Dessa 3D-CAD system är ganska nya på marknaden och tekniken håller fortfarande på att utvecklas med rasande fart. De flesta källorna finns på engelska i form av enstaka artiklar eller äldre skrifter. När det gäller det skapade elementet, en justerbar pelare, har ingen hänsyn tagits till den oelastiska knäckningen. Tanken var att pelaren automatiskt grovt dimensioneras med avseende på pålagda lasten. För exaktare och noggrannare dimensionering bör samråd med experter göras.

## 1.4- Metod

Arbetet genomfördes genom olika litteratur studier, kontakter och seminarier anordnad från olika CAD företag. För att få bättre förståelse om parametrisk modellering har författaren kontaktat flera olika experter i området både i Sverige och utomlands via e-post. Dessutom programmet Autodesk Revit Building används för att skapa fram ett parametriskt objekt.

## 1.5- Rapportens disposition

Arbetet har delats i tre delar, del ett ska ge en övergripande bild av digitaltmodellbyggande och lite djupare analyser av parametrisk modellering. Del två av arbetet har som syfte att dels skapa en övergripande bild av projektering i byggbransch och dels en lite mer detaljerad information om en del funktioner som finns i programmet Autodesk Revit Building för att skapa nya objekt. Den sista delen handlar om att skapa ett nytt objekt, en pelare som justerar sin dimension beroende på den last den bär.

# Del 1

---

## 2- Inledning

Arbetets utgångspunkt var att skapa ett smart element med hjälp av den parametriska programmering tekniken som är grunden till programmet Autodesk Revit Building, det program som jag skulle använda för att skapa mitt element. Men jag kände att jag inte har tillräcklig kunskap om hur egentligen parametrisk modellering fungerar. Jag undrade om vad parametrisk modellering är överhuvudtaget? Eller varför den heter så? Parametrisk! Jag tog alltså ett steg bakåt och startpunkten blev att först undersöka vad parametrisk modellering är. Men det kändes fortfarande inte som rätt startpunkt. Jag visste inte heller så mycket om modeller och modellering. Även om jag har jobbat under utbildningen ganska mycket med 3D-CADs modelleringsprogram men hade ändå inte tillräcklig teoretiska kunskaper om modeller och modellering tekniken. Jag tog ännu ett steg bakåt och min nya startpunkt blev att undersöka vad modeller är och varför finns de överhuvudtaget. Nu jag stod i rätt startpunkt för att börja arbetet.

Jag började först leta efter ledtrådar till svar på mina frågor på Internet. Under tiden gick även genom den artikel [4] som fick från min lärare [10] och skickade samtidigt e-post till personer som hade skrivit något om parametrisk modellering [11, 12, 13, 14]. Kursiv gick jag genom de litteraturer som såg mer intressanta ut för att sedan välja några som verkade mer relevanta till problemet [1,2,3,4,5].

Denna del av arbetet ska förutom att ge en helhet bild om modellering med fokus på det så kallad matematisk modellering, förhoppningsvis även underlätta förståelse av del 2 och del 3. Dessa tittar vi lite närmare på programmet Revit Building och använder dess olika funktioner för att skapa nya smarta elementer.

### **2.1- Modeller och modell typer**

Modeller är verktyg som man bygger upp för att lättare förstå verkligheten och komplexa företeelser. Ett litet plastiskt jordklot är en modell av den enorm stora och komplexa jorden. Idag kan man även med några hundra lappar få en modell över hela solsystemet, stora delar av universum och många andra planeter.

Ordet modell kommer från latinet och betyder förebild eller mönster, enligt Lennat Ljung och Torkel Glad som i sin bok, modellbygge och simulering [1], har beskrivit vad modeller är, varför de finns och hur de byggs.

Datorernas inmarsch och snabba utveckling på vår planet gjorde att nya idéer för modellbygget har fötts. Istället för att använda penna och papper, plast och glas, enorm stora laboratorier, dyra experimentella maskiner och verktyg ska man sitta bakom sin dator, lutar sig bakåt och experimentera med olika datormodeller över tekniska eller icke tekniska system med hyfsas korrekt svar. Tanken är att kunna i stort sett ersätta den experimentella metoden med undersökningar med hjälp av datamodeller, åtminstone för de tekniska systemen. Detta sparar inte bara tid och pengar utan förhoppningsvis ge bättre och exaktare resultat. Och det är just denna del av modellbygget, att få rätta och exakta svar, som är det svåraste delen. Modellerna ska efterlikna verkligheten så exakt som möjligt. Som modellerare ska man först förstå hur systemet fungerar i verkligheten

och sedan översätta det till något språk som datorer, eller program, förstå. Med andra ord det behövs två sorter av kunskap en faktisk kunskap om hur systemet fungerar vilket kallas domänexpertens (domain expertise) och den andra är kunskap om hur dessa fakta skall kunna omsättas till en funktionell och användbar modell något som kallas kunskapsingenjörernas (domain-specific) [1].

Modell typerna varierar ganska mycket från mentala och verbala till fysiska och matematiska enligt Ljung och Glad. Mentala modeller är de som man har i bakhuvudet och baseras på intuition och erfarenhet till exempel när man säger att någon är snäll då har man bildat en modell av hans beteende. Den verbala modellen är när man med ord beskriver hur ett system uppför sig under olika förutsättningar.

Fysiska modeller efterliknar systemet. Exempelvis när arkitekter bygger en modell för att testa hur huset ser ut eller båtbyggare använder fysiska modeller för att testa systemets vissa egenskaper.

De modeller som vi är intresserad av i detta arbete och är grunden för modellering med datorer är *matematiska modeller* i vilka modellen är beskriven i matematisk term. Till exempel för ett tekniskt system, exempelvis ett hus, kan man förklara systemets olika egenskaper med hjälp av fysikaliska lagar som i sin tur kan visas med matematiska termer. Just vilka matematiska termer man använder och relationer mellan dessa termer är grunden för olika typer av matematisk modellering, vilken jag kommer att förklara i avsnitt 2.3.

För icke tekniska system, till exempel ekonomiska eller biologiska, finns det inte några exakta naturlagar att utgå från då blir mest approximationer och sannolikheters lagar som används [1].

Matematiska modeller används i olika sammanhang. I bygg branschen har man använd sig av tekniken sedan flera år tillbaka och idag är utvecklingen på gång. Det finns flera kraftfulla 3D- CAD modellering program på marknaden som har sina rötter i den matematiska modelleringen.

## **2.2- Matematiska modeller**

### **2.2.1- Klassificering av matematiska modeller**

Beroende på bland annat vilka matematiska termer som används för att skildra ett system eller hur dessa termer relaterar med varandra finns olika typer av matematisk modellering. Till exempel om vi har ett tekniskt system och använder fysikaliska lagar och exakta samband för att skildra systemet med matematiska termer, då har vi en såkallad *Deterministisk* modell. Motsatsen stokastiskmodeller, slumpmässiga, innehåller variabler som beskrivs mest med approximativa, stokastisk, variabler. Detta händer mest då man ska modellera icke-tekniska system (ekonomisk, sociologiska ...), när man inte har i regel säkra "naturlagar" att utgå för måste i stället använda hypoteser eller allmänt vedertagna samband[1].

Parametriska modeller innehåller det såkallat villkor (constrain) i motsatsen till de dynamiska modeller som innehåller mindre eller inte alls några villkor vilket gör att modellerare är friare. Parametrisk och dynamisk modellering diskuteras mera i nästa avsnitt

När man ska modellera brukar systemet delas i olika delsystem. Olika del system av en modell kan innehålla olika sorts matematiska modeller, alltså en modell av ett system kan bestå av flera olika typer matematiska modeller[1].

## 2.2.2- Parametrisk & Dynamisk Modellering

Många 3D-CAD modelleringsprogram, till exempel Autodesk Revit eller CoCreate, är grundad på det så kallad parametriska eller dynamiska modelleringstekniken. I byggbranschen används ganska mycket parametriska tekniken på grund av egenskaper som passar just denna bransch medan i verkstadsindustrin är det dynamiska tekniken som är dominerande. Om man nu håller på att jobba med dessa 3D-CAD program kan det vara bra att kunna lite om bakomliggande tekniken och fördelar och nackdelar med respektive tekniken.

### 2.2.2.1-Teori

**Parametriska modeller** som sagts är en sort matematik modeller i vilka man med hjälp av ekvationer och relationer mellan dessa beskrivs systemet och dess beteende i ett matematiskt språk. Den kallas parametrisk på grund av att den ändras och bestämmas genom en grupp av parametrar. Parametrar är konstanter typ massor, längder och areor som är konstanta under en databeräkning (simulering) men kan variera mellan olika beräkningar. Man vill ofta med en databeräkning bestämma en lämplig värde på vissa parametrar. Dessa kallas design parametrar, medan övriga kallas systemparametrar[1].

Matematiska termer, även kallas geometriska villkor eller constrain (typ area eller volym satser, andragrad- och differentialekvationer), bestämmer hur en eller flera objekt ska bete sig då en parameter ändras. De styr objektbeteendet medan relationer mellan dessa matematiska termer, som kan bli väldigt många i en modellering process, bestämmer hur hela konstruktionen ska förändras ( som vanligen uttrycks med logiska operatörer typ AND, OR...) och kallas ”design intent”.

**Dynamiska modeller** i motsats till det parametriska arbetar man utan eller med få regler vilket gör att modellerna kan skapas och förändras snabbare. Är ditt program fullt av logiska regler då är du mot den parametriska sidan medan har du lagt lite eller inte alls logiska regler då är du mot den dynamiska sidan.

Det dynamiska modelleringen kan vara lättare både för användare och för programmerare men på andra sidan man slipper att göra ändringar överallt när man använder sig av den parametriska tekniken. Ändrar du någonting någonstans i ritningen kommer det att ändras över hela dit arbete.

En annan orsak till att man använder parametriska modelleringen mer i byggbranschen är att man inte gör sådana momentana förändringar när man håller på att bygga ett hus till exempel.

Om nu du vill skriva ett litet program för att skapa ett objekt med någon 3D-CAD applikation finns det några faser som är bra att ha i tanken [4]. I rapportens del 3 kommer jag att gå genom dessa faser när den justerbara pelaren ska skapas med Autodesk Revit.

Faserna är följande:

1. Kunskaps framkallande fas (knowledge elicitation phase)
2. Design fas (design phase)
3. Genomförande fas (implementation phase)
4. Verifierings fas (validation phase)

Under kunskaps framkallande fasen ska modelleraren klargöra hur konstruktionen i helhet kommer att förändra sig, dvs. design intent, och identifiera förväntat *objekt beteende* (object behavior). Den förväntade objekt beteende kan förklaras uttryckligt och behöver inte förklaras i parameter och geometriska villkor, t.ex. dörrarna till offentlig byggnad ska öppnas ut [4].

I design fas skall modelleraren uttrycker objekt beteende i tydlig parameter och geometriska villkor.

I genomförande fasen skall det översatta objektet beteende införas i en CAD system som parametrisk modell. I Autodesk Revit Building står några punkter som man ska ta hänsyn till när vill börja programmeringen. Man ska enligt Revit hjälp först planera vilka komponenter som behövs och sedan börja skapa objektens skelett

I verifiering fas ska de införda parametrarna och geometriska villkoren kontrolleras mot det ursprungliga design intent beskrivningen i fas ett och optimeras [4].

Det är kanske värt att veta att i parametrisk modellering finns det ofta mer än ett sätt att nå samma byggnad objekt beteende. Men vanligen beroende på beräkningarnas effektivitet och beteende beskrivning av konstruktionen under belastning, design intent, en blir lämpligare än andra [4].

En annan sak som är bra när man håller på med parametrisk modellering är att den kan bli strukturerad "top-down" eller "bottom-up".

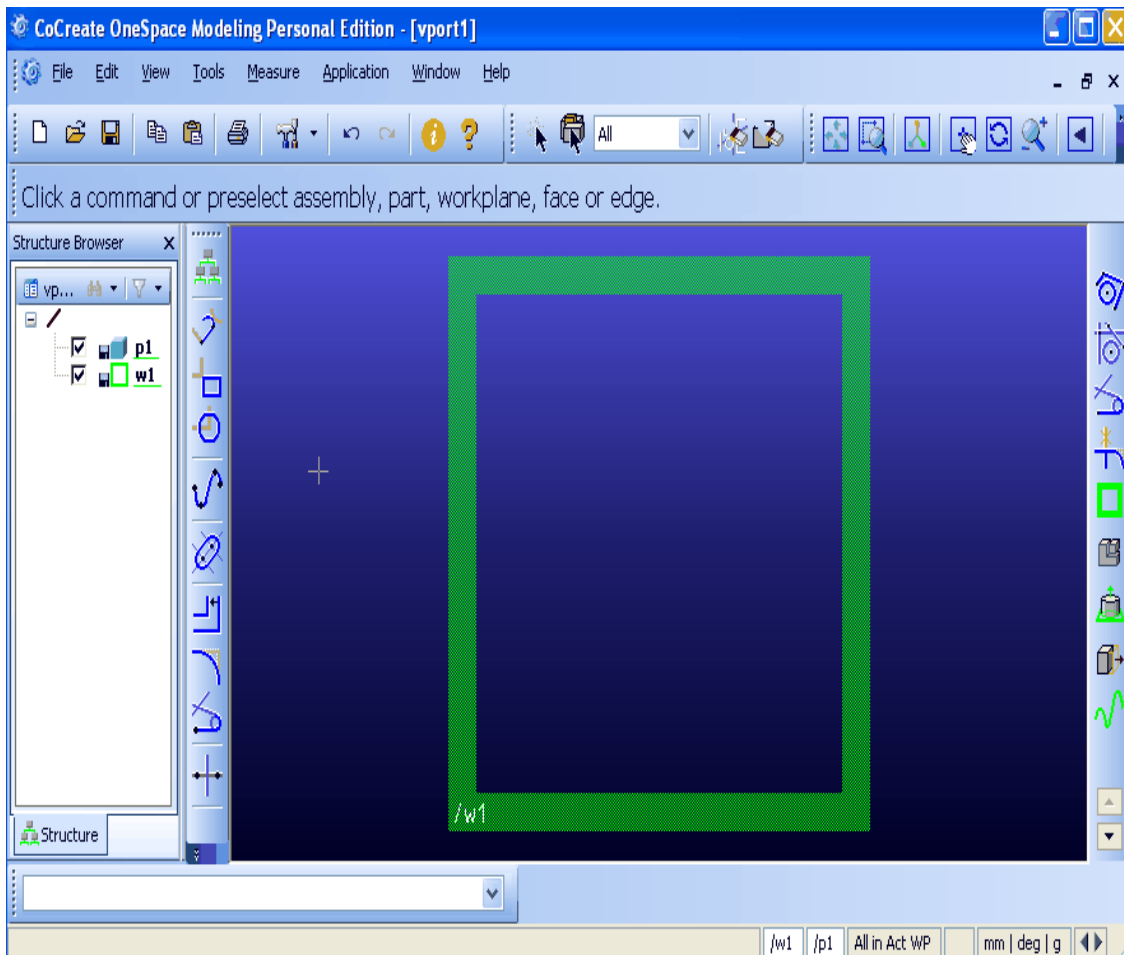
Top-down modellering innebär att man börjar med hela produkten och sedan förfinas den genom att komplettera och omplacera olika detaljer.

I bottom-up modellering man börjar med att definiera olika detaljer och sedan gradvis går till större delar [4]. Detta sätt används mest när man vill skapa nya detaljer som ska passa i ett särskilt projekt. Det är denna teknik, bottem-up, som används i del 3 för att skapa en justerbar pelare.

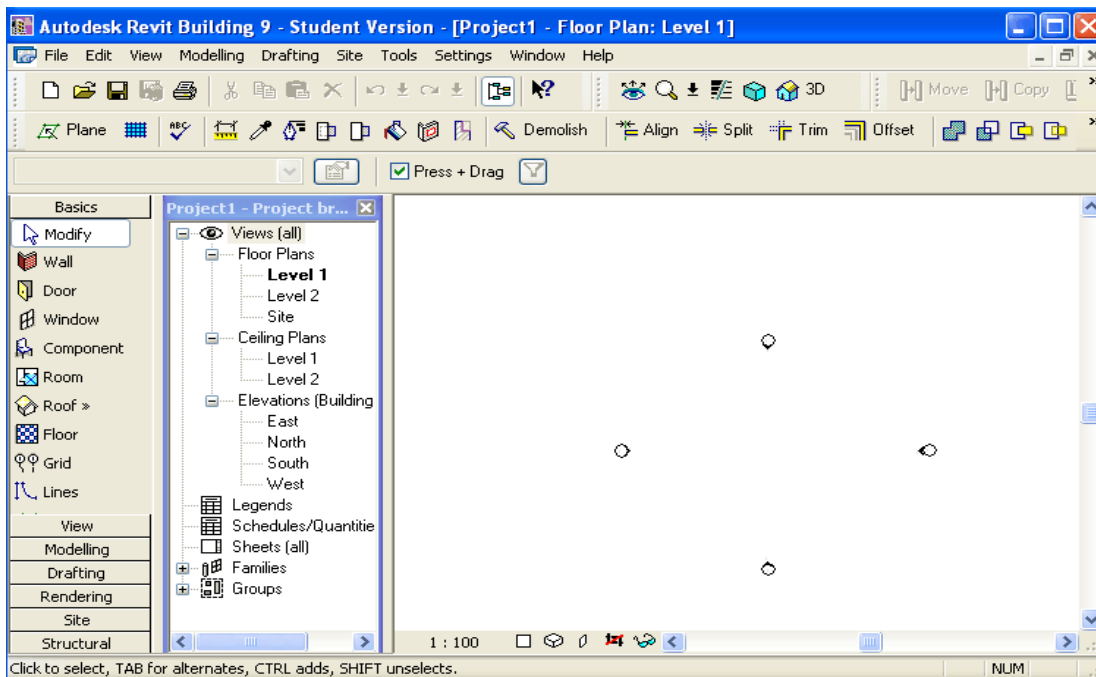
### 2.2.2.2-Program

Det är svårt att bestämma vilken typ av program, parametrisk eller dynamisk, som är bäst. Diskussioner förs mycket kring detta. Det finns både fördelar och nackdelar med både, men det bästa är att man utgår från vilken typ av verksamhet man har. Snabba ändringar kräver mer frihet och det dynamiska systemet passar då medan man kan ha den parametriska metoden för måttstyrda projekt med ganska få ändringar.

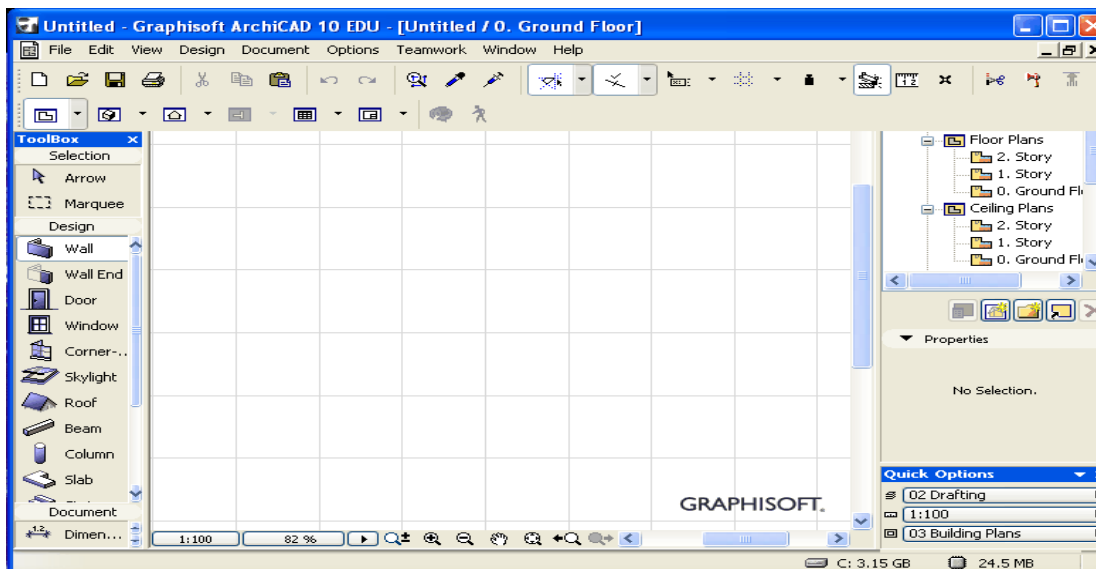
Jag fick prova några parametriska och dynamiska program. Har laddat ner en student version av både Autocad Revit och ArchiCAD tack vara Chalmers student licenser. Sedan fick två dynamiska program, IronCAD och Cocrete Onespace, en från deras seminarium och den andra, CoCreate, från nätet. Både var licenserad för en månad. De båda dynamiska programmen är avsedda för verkstadsindustri medan Revit och ArchiCAD är anpassad för byggbranschen. Skillnaderna funktionsmässigt eller utseende mässig inte är så stora, bild 1-3. Det verkar som att om man kan ett program kan man sedan lätt lära sig de andra. För mig kändes att allt gick snabbare i den dynamiska miljön medan det tog lite längre tid med det parametriska och har man ritat mycket då tar det ännu längre tid för programmet att registrera ändringar överallt.



Figur 1. Nytt projekt i den dynamiska applikationen CoCreate Onespace.



Figur 2. Nytt projekt i den parametriska applikationen Autodesk Revit Building.



Figur 3. Nytt projekt i den parametriska applikationen ArchiCAD.

Jag frågade Lasercad som är ArchiCADs återförsäljare i Sverige om skillnaderna mellan deras produkt och Autodesk Revit. Fick svar från Mats Knutsson[12], ansvarig för försäljning och kurser. Han tyckte att graden av parametrisering varierar och ArchiCAD har konstruerats så att arkitekter är friare i deras arbete i jämförelse med andra högparametriserade modelleringsprogram.

Bland de parametriska program som finns nu i marknaden för speciellt byggsektorn kan nämnas Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD, Bentley Triforma, Design Data SDS/2



pcj och Tekla Xsteel. Andra parametriska program som används i andra branscher är Inventor, SolidWorks, SolidEdge, ProE, CatiaV5, UG NX.

## Del 2

---

### 3- Inledning

Del 2 av arbetet ska ge dels en övergripande bild av dators användning i byggbranschen dels tittar närmare på programmet Revit och dess parametriska funktioner. Vissa begrepp typ BIM och BOB som används numera ganska ofta i detta sammanhang kommer att förklaras.

Jag gick även här som i del ett genom flera källor [2,3,4,6,7] och webbsidor [21,22,23] för att hitta det som skulle vara intressant att veta om just CAD tekniken och applikationer.

I del 3 kommer jag att använda programmet Autodesk Revit Building och dess familj redigerings program, för att skapa en justerbar pelare med avseende på last och längd. Det är därför jag här berättar teoretiskt om hur man skapar nya objekt med Autodesk Revit. Det finns även i bilaga 3 en sammanfattning av objekt skapande processen i Revit i punkt format om man vill komma igång snabbt.

#### 3.1- *Datastödd i bygg, 3D-CAD*

Med CAD, computer aided design eller datastödd konstruktion, menas användning av dator i konstruktions- och ritarbete. Man använder sig av speciella datorbaserade system, så kallad CAD- system.

Fördelar med att digital teknik i ritarbete är flera bland annat [3,4]:

- Snabbare design och tillverkning process
- Snabb ändring och korrigerigering av fel i befintliga ritningar
- Lägre kostnader på grund av tidsbesparingar

CAD används i flera tillverkningar bland annat elektronik-, verkstad- och byggindustrierna. I verkstadsindustrin används CAD för framtagning av ritningar över såväl detaljer som hela konstruktioner. I byggbranschen används CAD-system för bland annat arkitekt- och konstruktionsritning samt för el- och VVS-projektering[22]. Man talar om tråd-, yt- och solidmodeller när det gäller 2D och 3D. Vid tvådimensionell ritning byggs ritningen upp med hjälp av enkla grundelement som räta linjer, cirkelbågar, kurvor och text det kallas trådmodeller. Vid arbete i tre dimensioner bygger man en modell med hjälp av kurvor, ytor eller solida kroppar vilka kallas yt- respektive solidmodeller [22].

#### 3.2 *BIM och BOB*

Begreppen BIM, Building Information Modeling, och BOB, Building Objekt Behavior , används ganska ofta i samband med 3D-CAD inom bygg. Här kommer en kort förklaring om vad menas med dem.

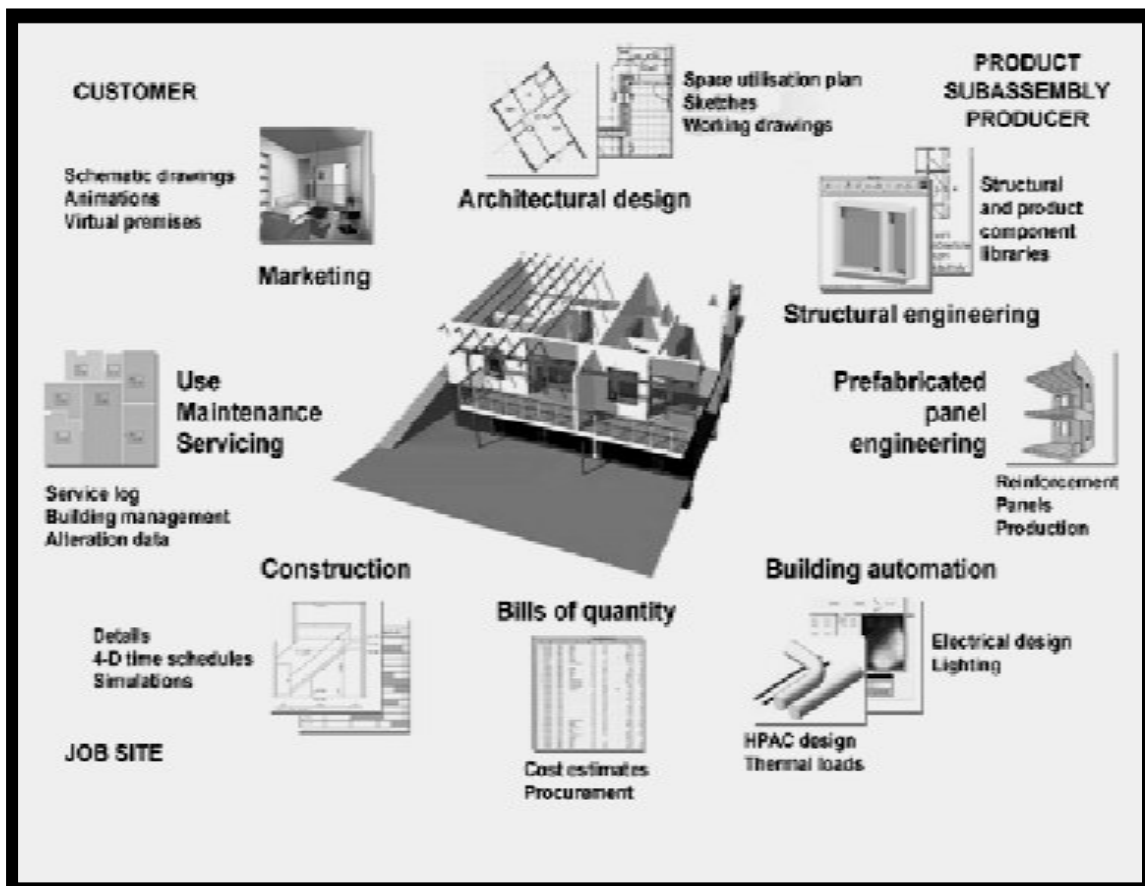
##### 3.2.1- BIM

Det var egentligen inte så klart för mig vad BIM betyder. Jag skickade först en e-post till Ghang Lee[12] och Rafael Sacks [13] och ställde några frågor bland annat om BIM.

Kort kan man säga enligt Lee och Sacks, BIM är CADs efterträdare. Den traditionella CAD var fokuserad på bara ritningen medan BIM är att skapa och arbeta med byggnad information i en samordnad och återanvändbar sätt.

En kanske lite bättre förklaring fick jag genom ett examensarbete[6]. Byggbranschen enligt [6] består av många olika aktörer vilka hoppar in i arbetet när det är dags och sedan lämnar platsen till nästa aktör. Dessa växlingar leder många gånger till informationsförluster och koordineringsmissar. Med BIM menas i denna mening att all information som ritningar och tidplaner med flera lagras i en databas och alla aktörer och andra inblandade ska ha tillgång till den centralt lagrade modellen och gemensamt bygger de upp en virtuell representation av byggobjektet. Modellen kan sedan uppdateras hela tiden med ny information om till exempel tillbyggnader, renoveringar och andra ingrep[6].

Ett annat begrepp som man hör ofta är produktmodell vilket betyder samma som BIM fast den inte är bara till byggbranschen utan används för andra produkter mest inom industrin, figur 4.



Figur 4. Byggnadproduktmodell

### **3.2.2. BOB**

Det är ganska svårt att veta exakt vilka beteende mönster objekten har till exempel i kontakt punkter med andra objekt. Ska man programmera måste man veta ganska exakt vilka parametrar ska vara med och hur objekt beteendet ser ut. Man strävar även efter att ha gemensamma lagar för beteende mönster över hela världen. Detta görs med hjälp av BOB, Building Objekt Behavior, eller byggnad objekt beteende som är en allmän och formell text och grafik notation [4].

### **3.3- Autodesk Revit**

I del 3 kommer jag att skapa ett justerbar pelare. Här går jag genom teorin om hur man kan skapa nya objekt med Autodesk Revit. I bilaga 3 har jag lagt allt som gäller objekt skapande mycket kort i punktformig form vilket kan vara bra om man ska komma igång snabbt

Autodesk Revit är ett 3D-CAD system för design och dokumentation. Den stöder design, ritning och förteckningar som behövs för en byggnad projekt. Under tiden när du ritar samlar programmet information om byggnad projektet. Denna information organiseras genom hela representationen av projekten och den parametriska tekniken ordnar alla ändringar som har gjorts var som helst i modellen [7].

För att skapa nya delar eller göra vissa ändringar i de befintliga komponenterna (Family) finns det ett familj redigeringsprogram (Family Editor).

#### **3.3.1- Familj & Familj redigerings program (Family editor)**

En familj (Family) är en samling av objekt, kallad typer (types). Till exempel en familj kallad fönster kan innehålla typer med olika storlekar, antal glas, material och form. Olika typer inom en familj kan ha olika värde för vissa eller alla parameter, men parameters serie – deras namn och mening – är samma. Alla elementer i Revit är familj-baserad (family- based).

Programmet innehåller tre typer av familjer: system familjer, standard komponent familjer och på- plats (in-place) familjer. System familjer är redan definierade och omfattar i princip byggnads delar som väggar, golv och tak. Du kan kopiera och modifiera existerande system familjer men du kan inte skapa nya system familjer. Standard komponent familjer finns redan i projektet mallar men även i biblioteket. De kan ändras och skapas i familj redigerings program (family editor). Den pelare som skapas i del 3 tillhör denna typ av familj [7].

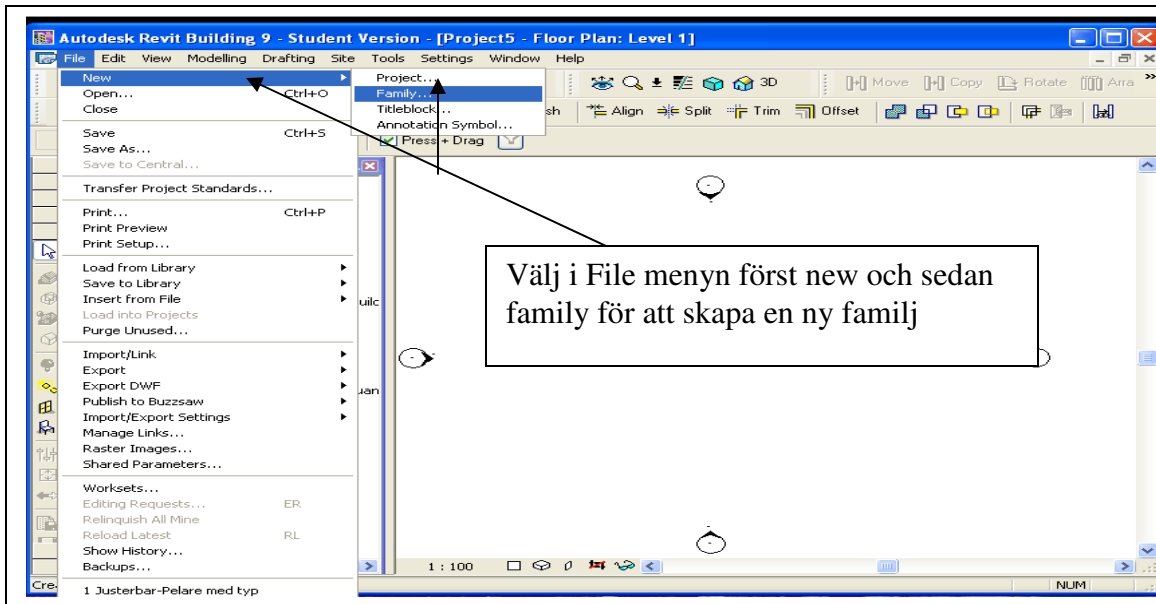
In-place familjer skapas bara inom det pågående projektet och de är användbara för unika delar i ett projekt.

Under design processen kommer man ibland i det läge som behöver en specifik komponent vilken man måste skapa själv, då ska man använda familj redigeringsprogram vilket gör att man slipper lära sig några komplexa programmeringsspråk

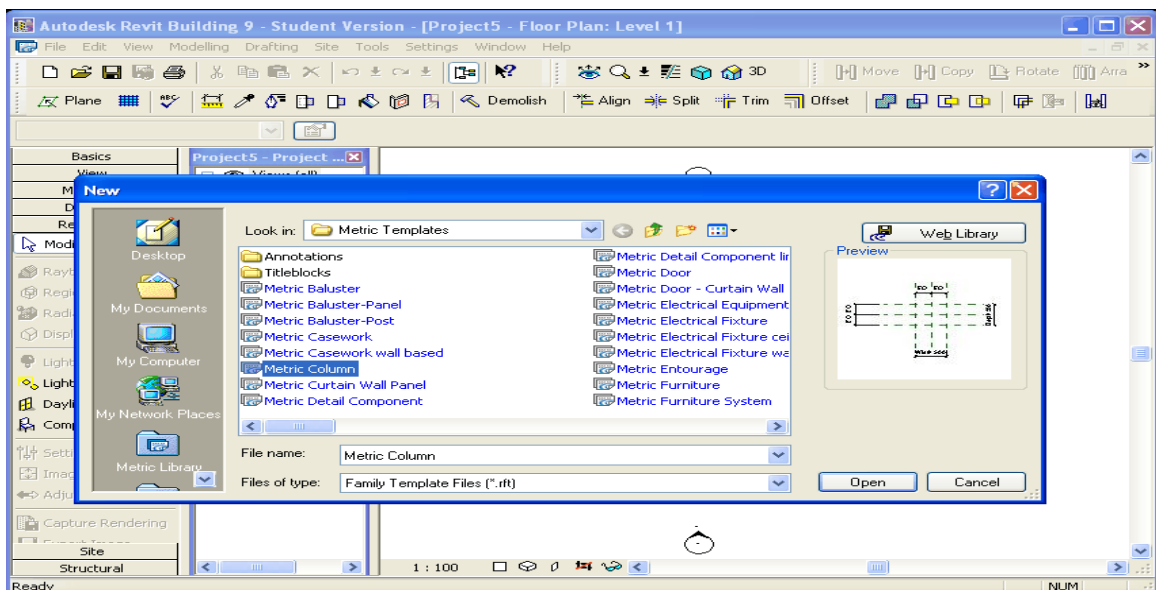
Familj redigeringsprogrammet är en grafisk redigering sätt och tillåter dig att skapa en familj inom fastställda mallar (templates) som innehåller intelligenta objekt vilka behövs för att skapa viss familj typer.

Mallar eller *template* tillåter dig att grafisk rita den nya familjen. Tempel innehåller all programmering som behövs för at skapa den nya familjen.

Generellt för att skapa en ny familj i Revit ska man först i *File* menyn välja *New Family*. I den dialog som öppnas väljer man en lämplig mall (template) och öppnar den, figur 5 och 6.

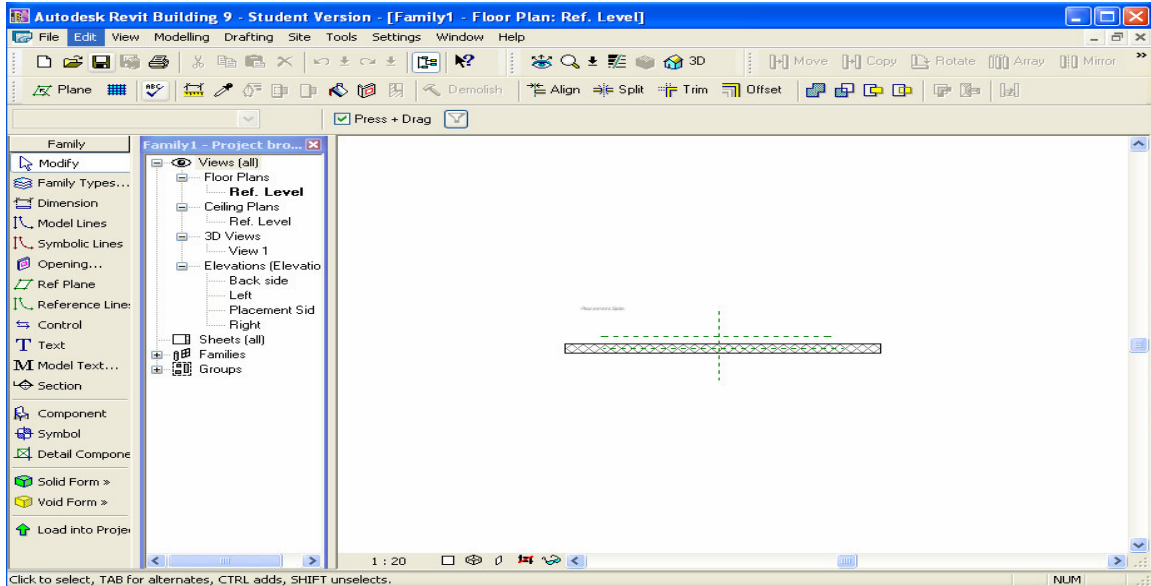


Figur 5. Val av ny familj i Autodesk Revit Building



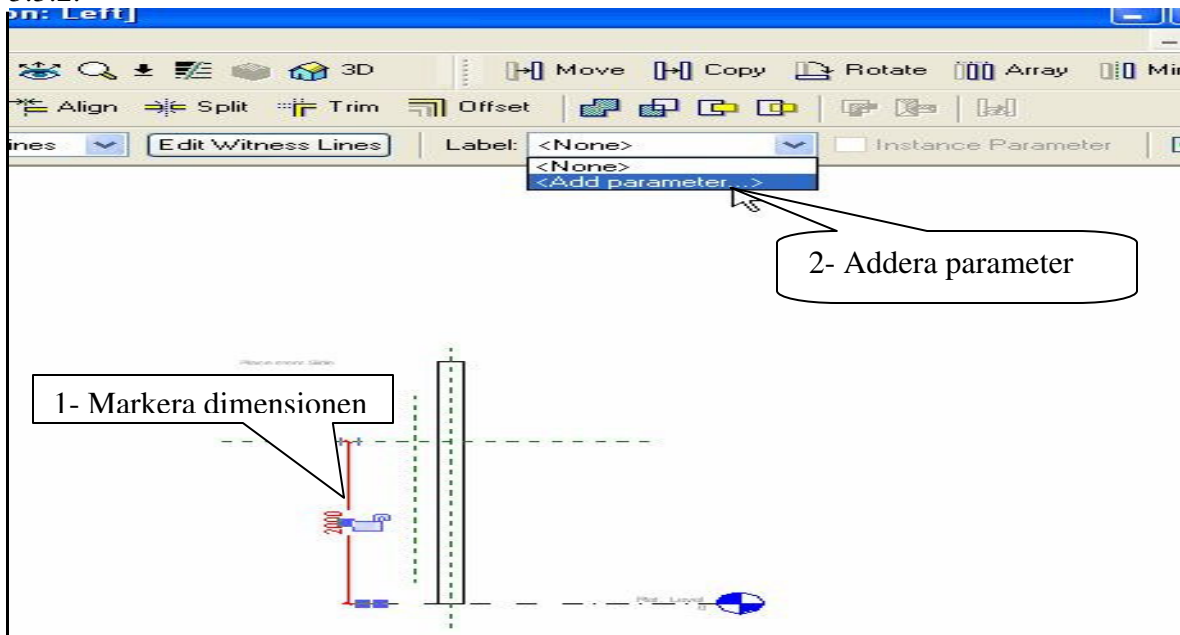
Figur 6. Val av mall I Autodesk Revit Building

Revit startas sedan i *Family editor* (familj redigeringsprogram) vilket ser ut som vanlig projekt arbete fast inte har samma kommando på design baren och kan öppna flera vyer beroende på vilken mall man har valt, figur 7. Nästa steg är att lägga referens plan och addera dimensioner och märka de. Du märker dimensioner som går att ändras genom att



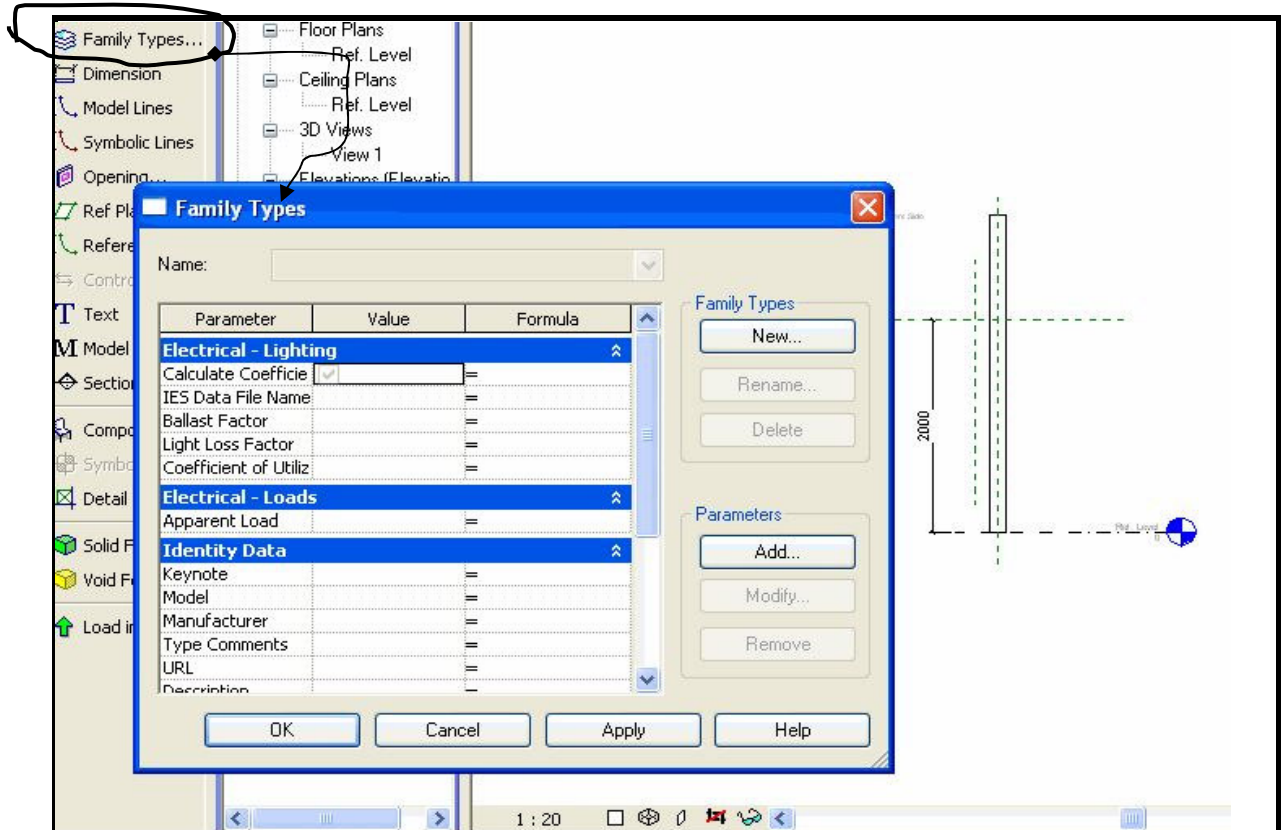
Figur 7. Familj editor i Revit Building

markera de och använda *Label* i optionsfältet, figur 8. Nästa steg blir att lägga till geometri och låsa de till referens planen. För att skapa parametrar går du till *setting* meny och klickar på *Family Types* vilket kan göras även via designfältet. I familj typ fönstret klicka på *Add New* i parameter fältet och ge namn och enhet till den nya parameter, se 3.3.2.



Figur 8. Addering av parameter till dimensioner

Det går också att lägga till formel för till exempel beräkning av area, volym... av geometrin. För att lägga till Formler till en parameter ska man i designfältet klicka på *Family Types* och i detta fönster i "Formula" kolumnen, nära den lämpliga parametern, skriva formel till parametern, figur 9.



Figur 9. I familj typen kan man lägga till parametrar och formel

En Formel kan innehålla följande aritmetiska operationer: addition, subtraktion, multiplikation, division, exponentiation, logaritm och rot. Den kan även innehålla trigonometriska funktioner som sinus, kosinus, tangant, arksinus, arccosinus och arktanganen. Exempel på vissa Formula finns i bilaga 1.

Det är även möjligt att skriva villkorliga utsagor (conditional statement) där aktivitet i en familj är beroende på tillståndet på andra parameter. Strukturen för en konditional utsaga är så: IF (<condition>, <result-if-true>, <result-if-false>)

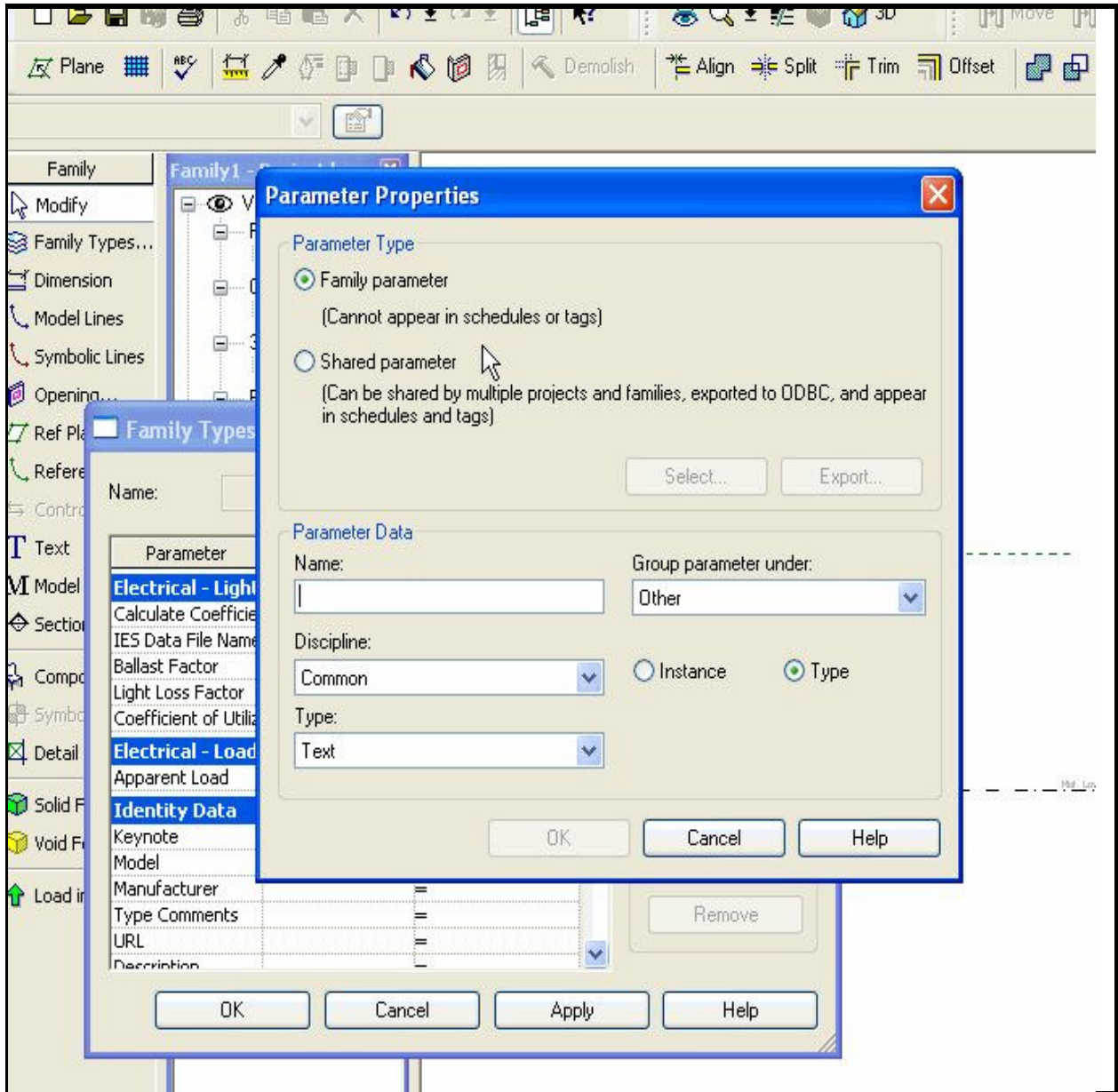
### 3.3.2- Share, family, instance och type parametrar

Det vanligaste sättet att skapa nya parametrar i Revit Building är att antagligen i familj redigeringsprogrammet först dimensionera de delar som kan ändras och sedan välja *Add parameter* i *Label* på optionsfältet vilket förklarades ovan.

Det andra sättet är att välja *Family Types* i designfältet och sedan klickar på *Add* i parameter fältet, figur 9. Oavsett hur man har skapat sina parametrar ska man välja vilket sort parametrar de är. Det är ett val mellan share, family, instance eller type parameter.

### Share och family parameter

Share parametrar är parametrar som man kan addera till en familj eller projekt och sedan dela med andra familj och projekt, i motsats till familj parametrar som är specifika till en familj, figur 10.



Figur 10. Val av parameter typ, family, share, type eller instance

Share parametrar ger dig förmåga att addera specifik information som inte är redan i förhand definierad i familj filen eller projekt mallen. Dessa parametrar är speciellt användbara om du vill skapa lista som visar upp olika familj kategorier. Share parameter är lagrad i en fil som är oberoende på någon familj fil eller projekt vilket tillåter dig att nå filen från olika familjer och projekt. Det är möjligt att ändra en share parameter till en familj parameter i "family types" dialogen [7].



### ***Instance och Type parameter***

Man kan säga att alla egenskaper i en familj är inom två grupper, *type* egenskaper och *instance* egenskaper. Egenskaper som är gemensamt till många element i en familj är *type* egenskaper medan egenskaper som varierar med elementets plats i byggnaden eller i projekt är *instance* [7].

Exempelvis dimensionen av ett fönster är dess *type* egenskaper medan var den ligger är *instance* egenskap. Det är samma när det gäller tvärsnitt dimensioner av en balk som är *type* egenskap medan dess längd är *instance* egenskap.

En *instance* egenskap påverka bara ett valt element till exempel när du väljer en dörr och dubbel klickar, ändrar du en av de *instance* egenskaper och klickar OK.

Kort man kan säga valet mellan *instance* eller *type* parameter beror på:

- ➡ Om komponenten kommer i standard storlek som måste bevaras överväga att göra den till en *Type* parameter.
- ➡ Om parameter kontrollera någonting som vanligen bevaras konstant överväg att göra den till en *Type* parameter.
- ➡ Om komponenten har material som varierar per komponenten, överväg att göra den till en *Instance* parameter.

## Del 3

---

### 4- Inledning

I den sista och avslutande delen av arbetet ska jag omsätta allt teori i praktik. All kunskap som samlats både under kursens gång och examensarbetet ska samlas ihop och användas för att skapa nya smarta objekt med Autodesk Revit Building.

I början av denna del hade jag två huvudproblem. Det ena var att lära och förstå lite djupare de olika funktioner och regler som finns i Revit Building för skapande av nya objekt, och den andra var att hitta ett lämpligt exempel och objekt med ett enkelt beteende för att kunna föra in den i Revit.

Vi hade ett möte med lärarna i start fasen om just vilket objekt passa bäst att skapa med Revit. Deras förslag var ett justerbart bjälklag, vilket skulle hitta lämplig tjocklek för att bära laster utan problem med avseende på pålagda lasten eller storlek av bjälklagen, längd och bred. Alternativ kunde ett antal tvärgående balkar adderas då spänningar skulle överstiga den tillåtna. Ändring av tjockleken av bärande vägar har också diskuterats. Jag hade problem med båda förslagen. Problemet verkade mer komplicerat än att jag själv skulle kunna lösa både när det gäller hållfasthets beräkningar och programmering med Revit. Jag kontaktade några lärare och företag för råd och eventuellt förslag till lösning. Fick ett lösningsförslag från en doktorand på Chalmers men lösningen krävde många parametrar och indata från olika tabeller vilket krävde mycket tid och skicklighet i programmering. Alternativ fick jag tips bland annat om TräGuiden och BetongBanken [23,24]. Det finns några lösningar till ett flertal kända konstruktion både i TräGuiden och i Betongbanken. Betongbanken hade även ett program för beräkning av hållfastheten för en betong bjälklag vilket var ur funktion och de visste inte när de kan sätta igång den igen.

Jag vände till sist mig till min gamla hållfasthetslära böcker [8,9]. Där hittade jag några intressanta exempel. Jag valde en som handlade om knäckning, Eulers knäckkraft, exemplet finns i "Mechanics of materials" [8], avsnittet knäckning. I problemet antar man att knäckningen är elastisk vilket gör det lättare att programmera det i Revit. Dessutom lägger man på en säkerhetsfaktor för max spänningen.

För att bättre hanterat Revits funktioner hittade jag ett bra exempel i Revits tutorial. I denna tutorial, Parametric Component Design Techniques, som finns under Tutorial i hjälp menyn kompletterar man en balk med både enkla och avancerade objekt beteende. En mycket bra övning om man nu vill lära sig grunderna för objekt skapande bra och snabbt.

Nedan går jag genom de fyra faser, som gäller för parametrisk modellering, när jag skapade pelaren. Om faserna kan du läsa i avsnitt 2.2.2.1.

#### **4.1- Kunskap framkallande Fas (knowledge elicitation phase)**

Jag valde att skapa en pelare med justerbart tvärsnitt vilket betyder att objektens tvärsnitt area ändras då pålagt kraft eller längden av pelaren ändras. Tvärsnitt ska vara kvadratisk och pelaren är av trä. Ytterligare är pelaren ledlegrad i både ändarna. Med avseende på att man ändra lastens storlek eller pelarens längd kommer pelarens tvärsnitt längd automatisk höjs eller sänks. Man kan även ändra infästnings faktor om nu det behövs. Säkerhetsfaktor mot knäckning valdes till 2.5.

## 4.2- Design Fas (design phase)

I denna fas skulle alla tankar och teorier i första fasen förvandlas till matematiska termer. Eulers samband för elastisk knäckning används för en analytisk lösning vilket visas nedan:

$$F_{\text{knäckning}} = (\pi^2 * E * I) / (\beta * L)^2 \quad (1)$$

I=tröghetsmoment

E= Elasticitetsmodul

$\beta$ = faktor som beror av infästningen vid stångens ändar.

L= Pelarens längd

Löser man ut I i (1) får man:

$$I = (F_{\text{knäckning}} * (\beta * L)^2) / (\pi^2 * E) \quad (2)$$

Men tröghetsmomentet för en kvadratisk yta är:

$$I = a^4 / 12 \quad (a \text{ är kvadraternas längd})$$

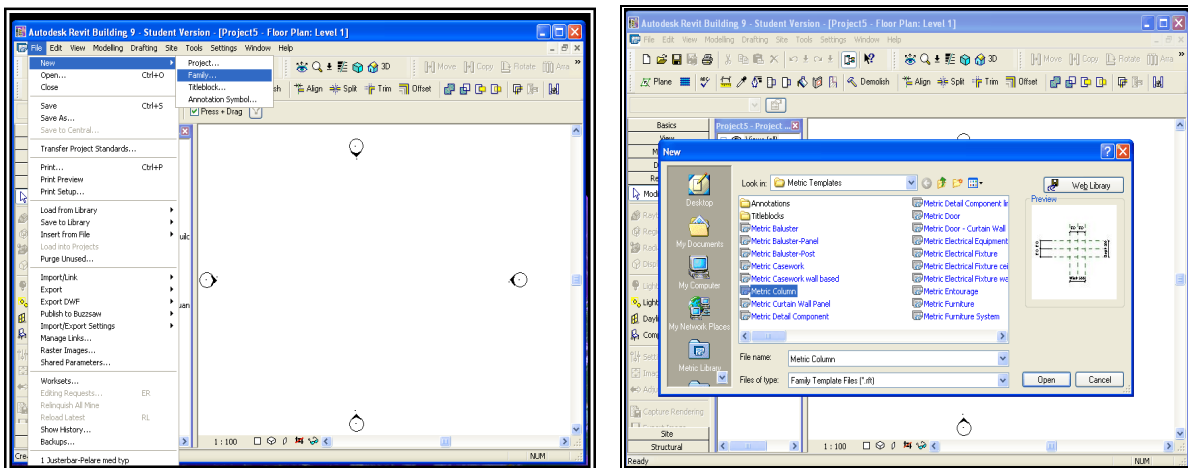
Den beräknad I, i formel (2), läggs i (3) för beräkning kvadratens sidolängd:

$$a = (I * 12)^{1/4} \quad (3)$$

## 4.3- Genomförande Fas (implementation phase)

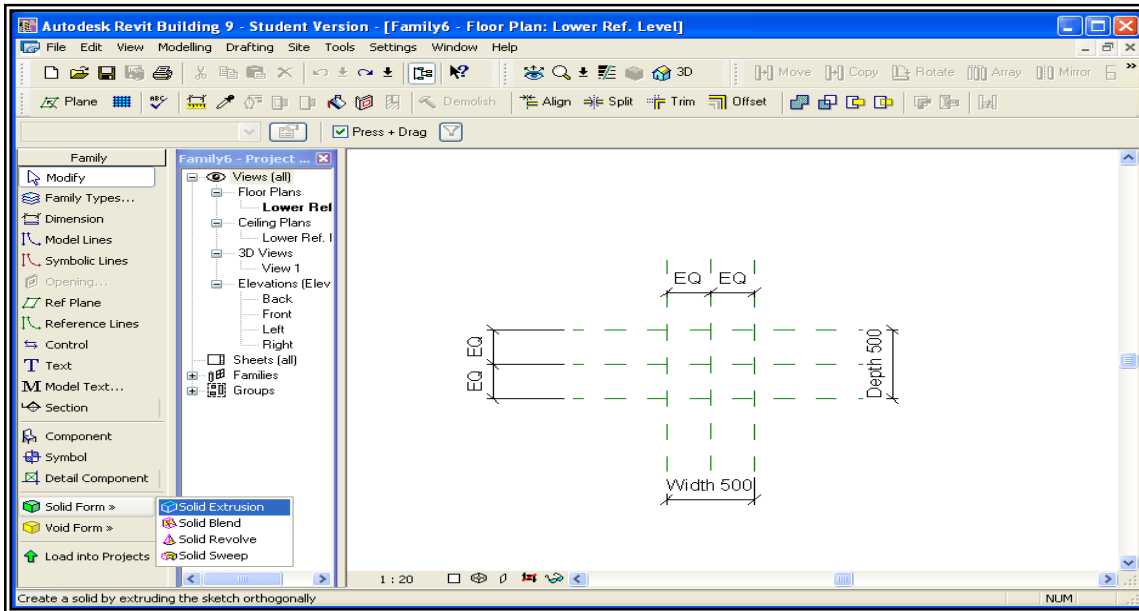
I denna fas måste allt från fas 2 programmeras i Revit. Först ska programmet räkna tröghetsmomentet "I", formel (2), sedan placera det i formel (3) för att beräkna kvadratens sidolängd "a".

Inmatningen börjades med att jag valde new familj i *File menyn*, se bilaga 3, och i det nya fönstret valde en lämplig mall (tempel). Mallen heter *Metric Column*, figur 11.

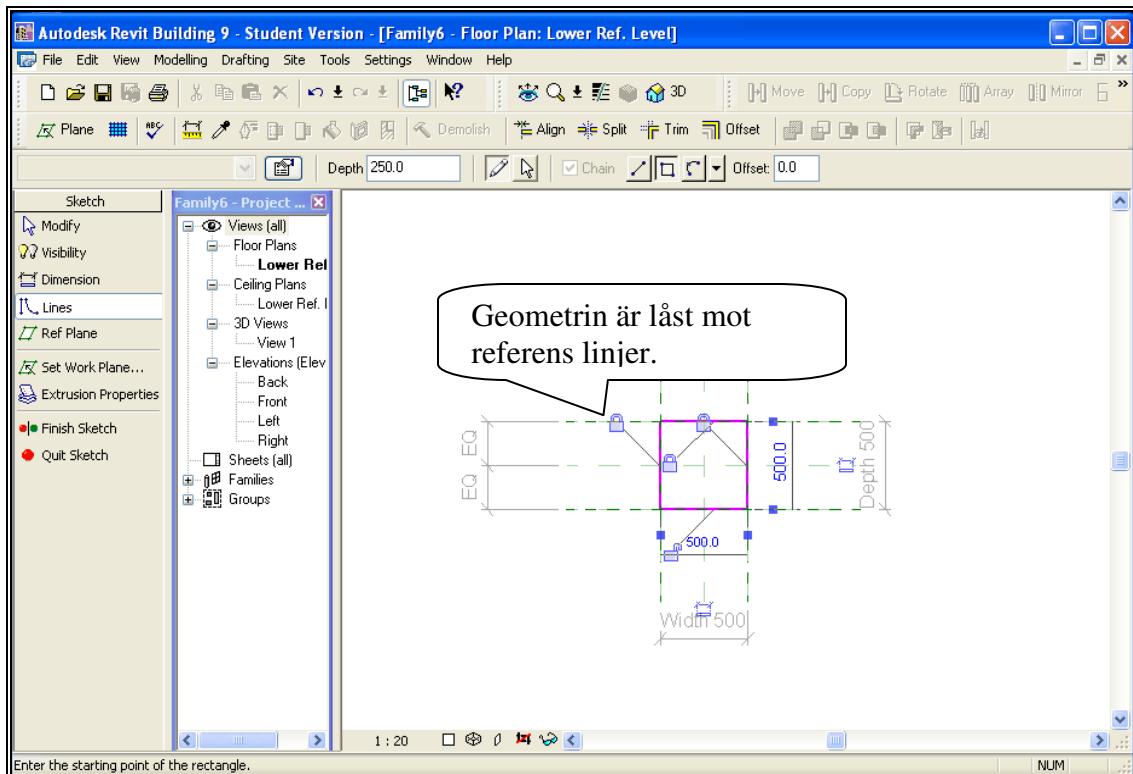


Figur 11. Ny familj och familj templet i Revit Building

Nästa steg var att med hjälp av kommandot "Extrusion" skissa pelarens tvärsektion som i detta fall var en kvadrat. Under "Solid Form" i designfältet har jag valt Extrusion och skapat först en sketch av pelarens tvärsektion. Avslutar man sedan skissningen skapas hela pelaren, figur 13 och 14.



Figur 12. Kommandot Extrusion



Figur 13. Skissning av tvärsektionen. Observera att skissen är låst till referenslinjerna.

Nu var det dags att skapa parametrar och relationer för att ge pelaren önskade beteende. Först lade jag två dimensioner, en för pelarens längd och en för tvärsnittets bredd. I elevationen "Fram" satte jag längd dimensionen och "Lower Ref Level", under floor plan, har använts för inläggning av bred dimensionen. Dimensionerna har sedan märktes (label) och förvandlades till parametrar vilka kunde sedan även nås och ändras via familj typen, figur 15, 16.

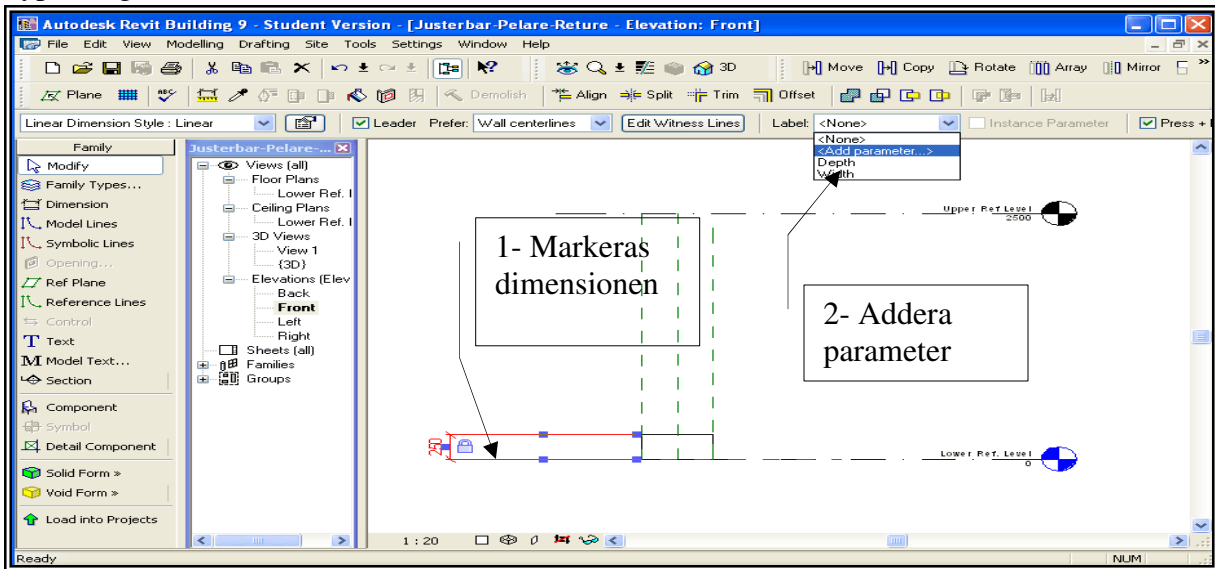


Bild 15. Markering av längd dimensionen.

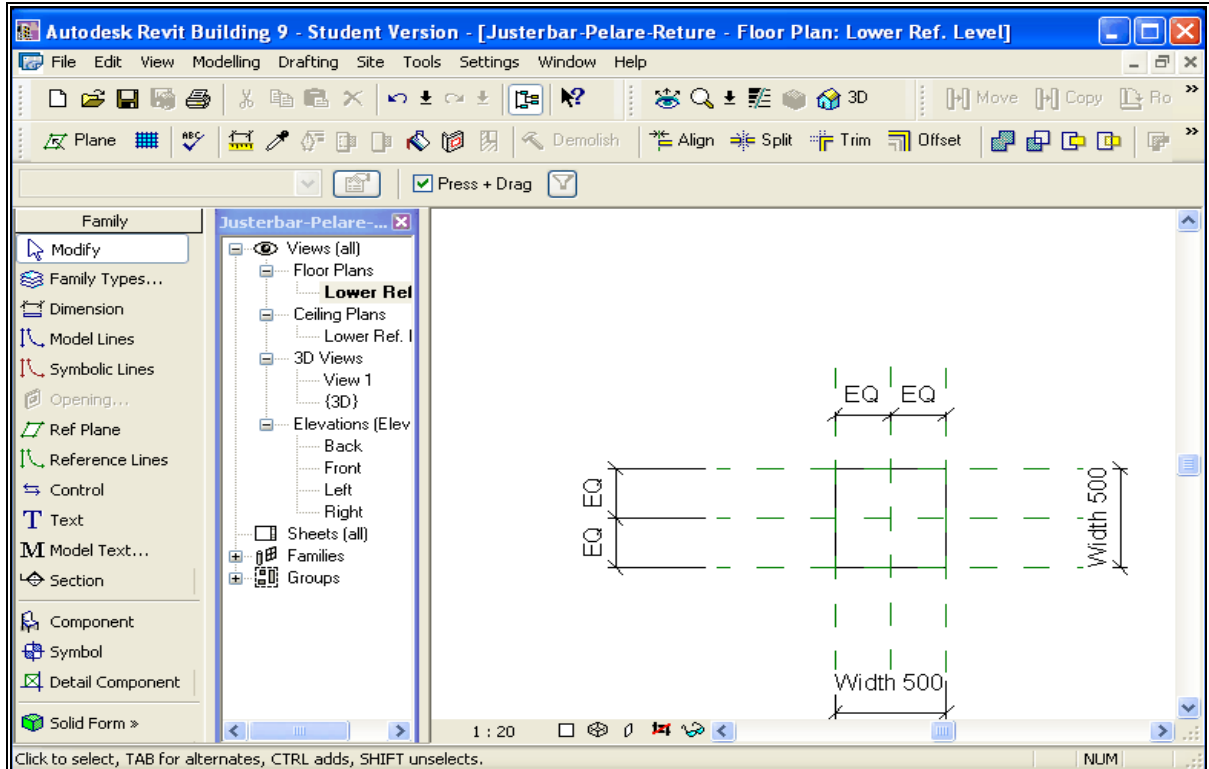


Bild 16. Markering av bred dimensionen.

Resten av arbetet gjordes mest i dialogrutan, *Family Type*. Där skapade jag först andra parametrar som tröghetsmoment, knäck kraft, och elasticitetsmodul och sedan lagt till dessa parametrar relevanta formler, bild 17.

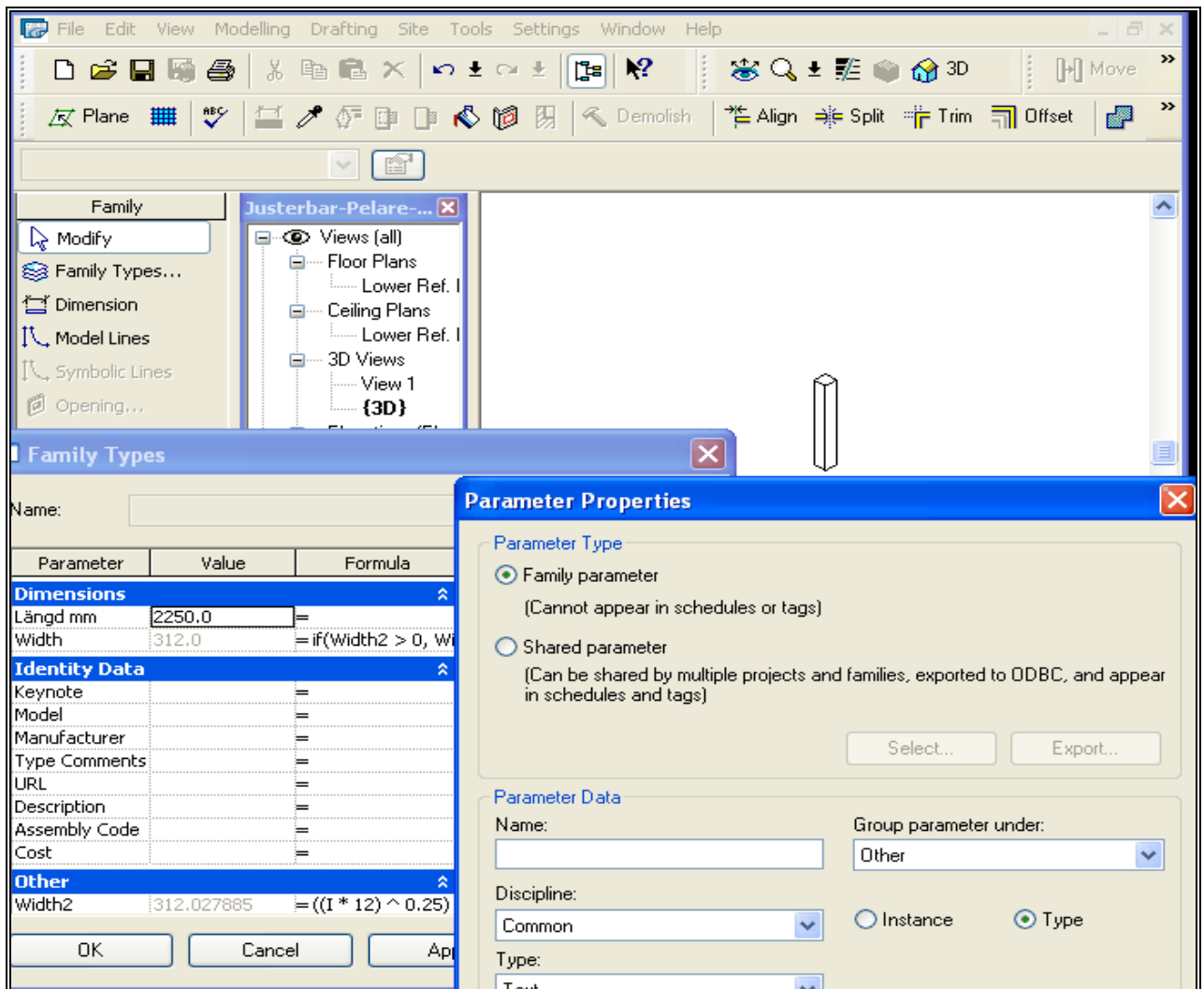


Bild 17 . väljer man familj typer och sedan add parameters så kan man fylla i Parameter properties.

Just här fick jag många fel meddelande för syntaxen på formler. Detta berodde mest på att vissa parametrar fortfarande inte är definierad i Revit, t ex. tröghetsmoment. När man inför en formel för beräkning av tröghetsmoment med enheten  $m^4$ , känner programmet inte igen det och visa fel meddelande. För att eliminera felet tvingades jag att omdefiniera de flesta parameter till "Number" vilket betyder att programmet inte känner längre igen om det är en kraft som matas in eller area utan alla siffror är utan någon enhet. På så sätt blev det möjligt att införa olika räkneoperationer mellan parametrar i formler.

För att se de olika parametrar och formler som styr pelaren ska man öppna pelaren i familj editor och välja familj typ i designfältet. Totalt har jag lagt 9 parametrar, 6 formler och en konstant, bild 18.

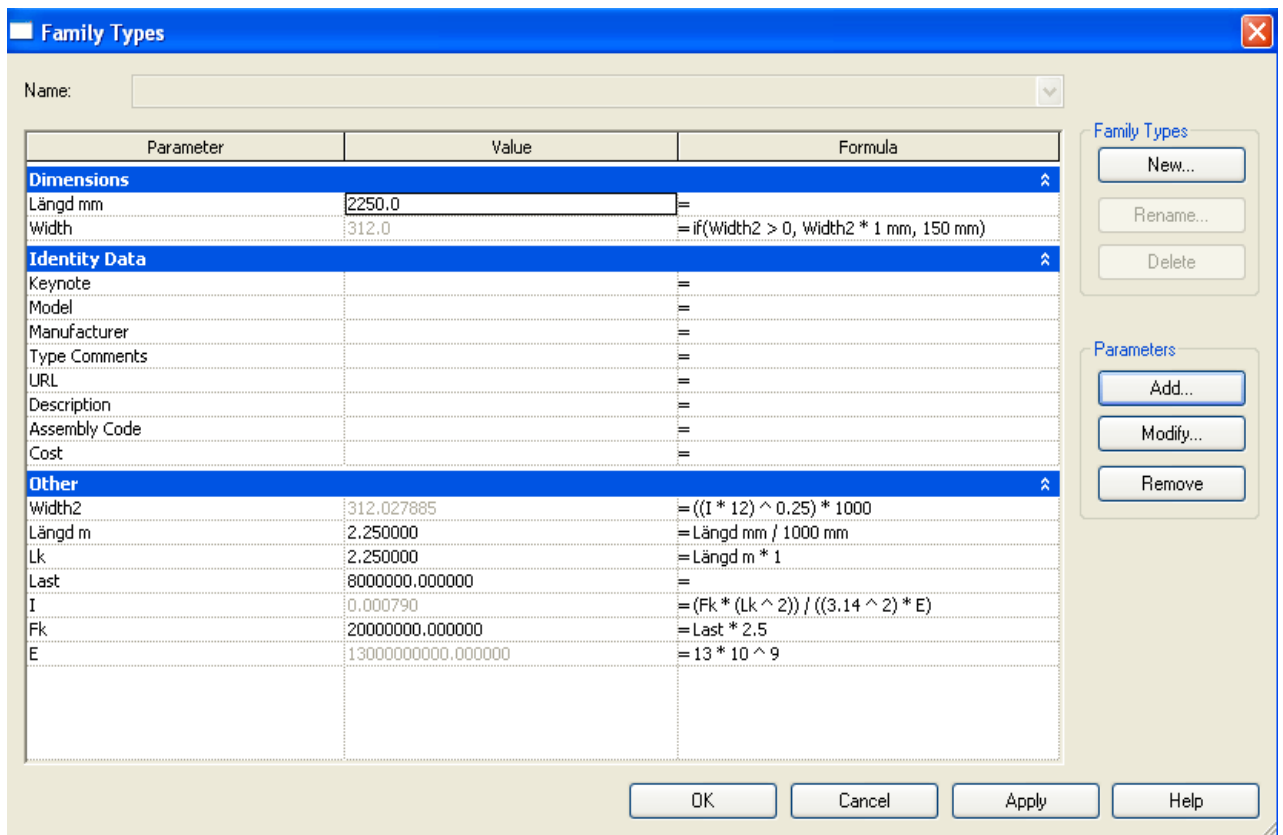


Bild 18. Familj typen när jag var färdigt med alla inmatningar och formler.

Parametrar och deras tillhörande formler är:

1. **Längd mm**= längden av pelaren i millimeter, en märkt (label) dimension.  
Formler= ingen formel. Värdet läses direkt från pelaren eller matas in.
2. **Width** = bredden på tvärsnittet vilket är samma i alla hörn då tvärsnittet är kvadratisk.  
Formler= if(width2>0,width2\*1 mm, 150 mm), vilket säger att om beräknade bredden var större än 0 då ersätt det med nuvarande bredden annars som default välja 150.
3. **Width2**= beräknade bredden genom pålagt kraft och tröghetsmomentet  
Formel= $((I * 12)^{0.25}) * 1000$ , samma som formel (3) för beräkning av kvadratens längd.
4. **Längd m**= pelarens längd på meter  
Formel= Längd mm/ 1000 mm. Dividera längden i millimeter med 1000 för att få den i meter.
5. **Lk**= längden multiplicerad med faktorn  $\beta=1$   
Formel= Längd m \* 1. multiplicera längden i meter med Eulers faktorn  $\beta$ , bilaga 4, vilket är lika med 1 då vi har ledlagrad infästning i båda ändar. Värdet av  $\beta$  kan ändras beroende på vilken typ av infästning man har.

6. **Last**= den pålagda lasten  
Formel= ingen formel
7. **I**= tröghetsmoment  
Formel=  $(Fk*(Lk^2))/((3.14^2)*E)$ , samma som formel (2) för beräkning av I med hjälp av knäckkraften
8. **FK**= knäckningskraft.  
Formel= Last\*2.5, säkerhets faktor 2.5 multipliceras med pålagt last för att få knäckningskraften
9. **E**= träs elasticitetsmodul  
Formel=  $13*10^9$ , konstant

Alla Parametrar och tillhörande formler finns under kategorier *dimension* och *other* i familj typen.

#### 4.4- Verifiering fas (validation phase)

I Revit Building hjälp står det att man ska kontinuerlig "Flexa" nya parametrar och formler som läggs in så att vara säkert att de fungerar. Flexing är samma som verifiering vilket jag gjorde kontinuerlig för att se att allt fungerar. Det är inte något som man ska göra i sista skedet utan det finns ett direkt samband mellan fas 3 och fas 4. Alltså varje ny formel eller parameter som läggs in i fas 3 måste flexas och provas. Gör man inte det då blir det svårt att hitta felet. När man öppnar familj typen är det bättre att placera den på

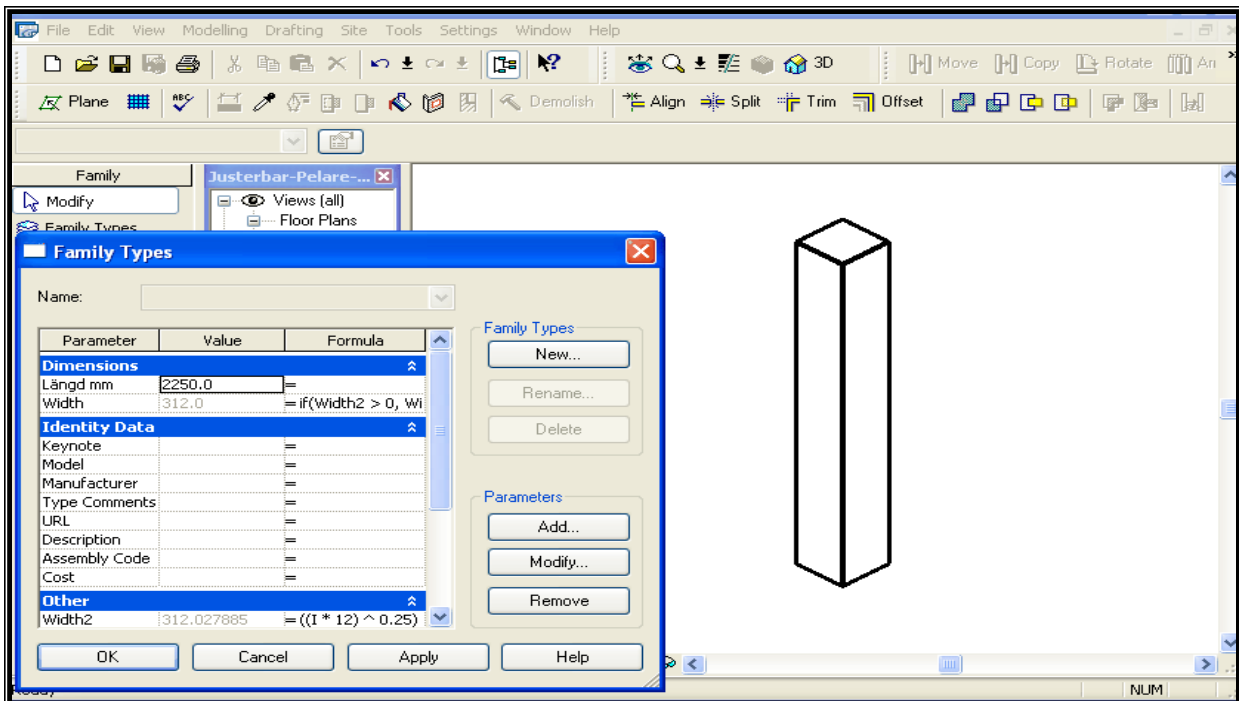


Bild 19, placering av familj typen när jag kontrollerade mitt objekt.



en sida så att man kan se sitt objekt när man ändrar och lägger till parametrar och formler, se bild 19. Sedan är det bara att ändra värde och trycka på ”Apply” om allt är bra och korrekt du ser att ditt objekt ändrar form eller storlek och det ska se logiskt ut också. Annars kan man få fel meddelande både i familj typen eller att objekten ändra inte alls sig eller ändringar ser konstiga ut. Jag har även gjort en handberäkning vilket gav exakt samma resultat som Revit ger för sidolängden av pelarens tvärsnitt.

## **5- Avslutning**

Den viktigaste slutsatsen som går att dra från detta examensarbete är att även om koncepten BIM, att all information lagras digitalt i en databas därifrån ritningar, mängdförteckningar, tidplaner med mera kan extraheras, är en bra idé men att skapa objekt är fortfarande ganska komplicerad process i 3D parametrisk Cad system och applikationerna måste utvecklas och förbättras för att nå önskade resultat.

## 6- Referenser

### Litteratur

- [1] Lennart Ljung, Torkel Glad. Modellbygge och simulering. Studentlitteratur ISBN 91-44-02443
- [2] Jami j. Shah, Martti Mäntylä. Parametric and feature-Based CAD/CAM
- [3] Rafael Saaks, Charles M. Eastman, Ghang Lee. Artikel: Parametric 3D modeling in Building construction with examples from precast concrete.
- [4] Rael Saaks, Ghang Lee, Chales M. Eastman. Artikel: Specifying parametric building Object behavior (BOB) for a building information modeling system.
- [5] Robert Andersson, Solidmakarna. Artikel: Är parametrisk modellering det bästa arbetssättet i 3D CAD?
- [6] Mattias Gustafsson, Examensarbete i datalogi vid programmet för datateknik, Kungliga Tekniska Högskolan år 2006
- [7] Autodesk Revit Building 9 & Autodesk Structure 3, Help & Tutorial
  
- [8] Ferdinand P. Beer, E. Rusell Johnston, Jr. John T. Dewolf, Mechanics of materials. ISBN 0- 07-365935-5
- [9] Sven Malmendahl, Hållfasthetslära. ISBN 91-88078-11-6

### Muntliga källor

- [10] Börje Westerdahl, Tekniklektor, Chalmers Tekniska Högskolan,  
Tel: +46(0)31-7725071, Fax: +46(0)31-7721134,  
E-post: [borje.westerdahl@chalmers.se](mailto:borje.westerdahl@chalmers.se)
  
- [11] Leif Mårtensson. Cadplatsen AB Dellensvägen 3, SE-12058 ÅRSTA Tele +46-(0)8-722 73 00, Mobil +46-(0)73 514 25 44, Fax +46(0)8-722 93 95 e-post:  
E-post: [leif@cadplatsen.se](mailto:leif@cadplatsen.se), Internet: [www.cadplatsen.se](http://www.cadplatsen.se)
  
- [12] Mats Knutsson. ArchiCad,  
E-post: [mats.knutsson@lasercad.se](mailto:mats.knutsson@lasercad.se)
  
- [13] Ghang Lee, Ph.D. Assistant Professor, Dept. Of Architectural Engineering, Yonsei University 134 Sinchon-Dong, Seodaemun-Gu, Seoul 120-749, Korea Tel: +1-82-2-2123-5785 Mobile: +1-10-9287-6256 Fax: +1-82-2-386-4668  
E-post: [email:glee@yonsei.ac.kr](mailto:glee@yonsei.ac.kr)  
Building Informatics and Integrated Systems Lab <http://biis.yonsei.ac.kr/>
  
- [14] Dr. Rafael Sacks, Structural Engineering and Construction Management Faculty of Civil and Environmental Engineering Technion - Israel Institute of Technology, [cvsacks@technix.technion.ac.il](mailto:cvsacks@technix.technion.ac.il), <http://www.technion.ac.il/~cvsacks/>
  
- [15] Bengt Carlsson Div of Systems and Control, Dept of Information Technology Uppsala University PO Box 337, SE-751 05 UPPSALA, SWEDEN

## **Elektroniska källor**

- [21] BIM Resources @ Georgia Tech. [2007-04-01]  
<http://bim.arch.gatech.edu/>
- [22] National Encyklopedin. [2007-05-15]  
<http://www.ne.se/>
- [23] Ceco Interactive Design AB [2007-04-10]  
<http://www.ceco.se/>
- [24] TräGuiden [2007-04-15]  
<http://www.traguiden.se/>
- [25] BetongBanken [2007-04-15]  
<http://www.betongbanken.se/>

# Bilagor

## ***Bilaga 1***

Tillåtna förkortningar till formler i Autodesk Revit

- Addition— +
- Subtraction— -
- Multiplication—\*
- Division—/
- Exponentiation—<sup>^</sup>:  $x^y$ , x raised to the power of y
- Logarithm—log
- Square root—sqrt: sqrt(16)
- Sine—sin
- Cosine—cos
- Tangent—tan
- Arcsine—asin
- Arccosine—acos
- Arctangent—atan
- e raised to an x power—exp
- Absolute Value—abs

## Bilaga 2

### Tillåtna enheter för parametrar i Revit Building

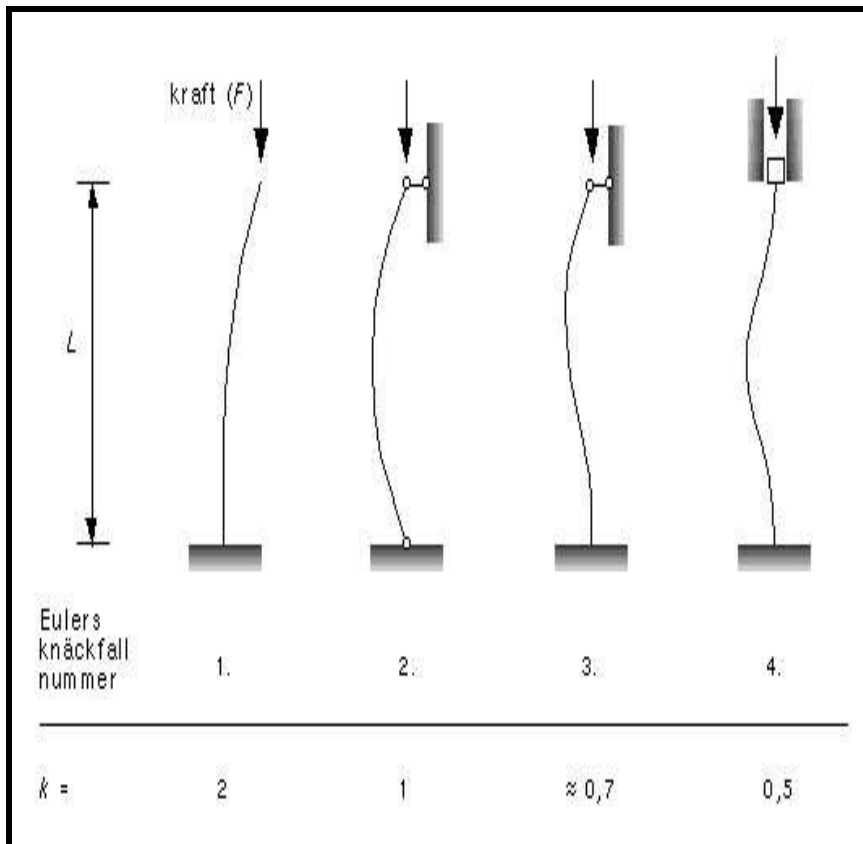
<b>Name</b>	<b>Value</b>	<b>Description</b>
Text	user-defined/alpha-numeric	Completely customizable. Can be used to collect unique data.
Integer	user-defined/integer	A value that is always expressed as an integer.
Number	user-defined/numeric	Used to collect miscellaneous numeric data. Can be defined by a formula. Can also have real numbers.
Length	user-defined/numeric	Can be used to establish the length of an element or sub-component. Can be defined by a formula.
Angle	user-defined/numeric	Can be used to establish the angle of an element or sub-component. Formulas can be used in this field.
Area	user-defined/numeric	Can be used to establish the area of an element or sub-component. Formulas can be used in this field.
URL	user defined url	Provides web link to user defined url.
Volume	user-defined/numeric field	Can be used to establish the length of an element or sub-component. Formulas can be used in this field.
Material	Selection of materials within the project	Establishes parameters in which a specific material can be assigned.
Yes/No	Yes or NoDefault = Yes	Used most often for instance properties when the parameter is defined with either a Yes or No.
Family Type	User selects category	Used with nested components and allows you to swap components after family is loaded into a project.

### **Bilaga 3**

**Generellt för att skapa en ny familj i Revit ska man( mer om detta kan du hitta i Revit Buildings hjälp, Family Editor Basics):**

1. Välja i *File* menyn *New Family*.
2. Välja en lämplig mall (template) och öppnar den. Tillexempel om du ska skapa en ny pelare ska du välja "colum". Ibland finns det flera alternativ att välja till ett objekt.
3. Revit startas sedan i *Family editor* (familj redigeringsprogram) vilket tillåter dig att skapa eller ändra en enskild familj och många typer från den familjen.
4. Lägg till referens plan. Referens plan/linje är bra hjälp till skissning när man skapar ny familj. Du kan sedan till exempel lösa hela eller delar av din profil till olika referens planer så att din profil inte gå över dem. Om du skissar en linje ovan på referens plan/linje, Revit flyttar den till referens plan/linje. Om referens plane/linje flyttas, flyttas också skeissen. Kom bara ihåg att du ska addera referens planet före skapande av någon geometri.
5. Nästa steg blir att lägga till geometri, till exempel balk, fönster, dörr eller pelare beroende på vilken mall har du valt, och låsa de till referens planen. Vanligen gör man det med solid form kommandot. Vissa mallar har redan referens plan och geometri.
6. Addera dimensioner och märk dem. Du märker dimensioner som du vill att de ska vara förändringsbara genom att markera dem och använda *Label* i optionsfältet. När du märker dimensioner så syns de i familj typen. Där kan du sedan göra ändringar eller lägga till formler till dina dimensioner som du nu har du förvandlat till parametrar. Var noga i vilken elevation du befinner dig vissa längder kan inte nås i alla elevationer.
7. Skapa parametrar. Vanligen om man ska införa formler behövs några andra parametrar förutom de som man har fått genom att märka dimensioner eller de som redan finns i mallen. Du kan addera nya parametrar genom att välja "add" under parameters i familj typen. Är du tveksamt vilken sort parameter den är välj typ parameter. Har du problem med enheter välj "Number".
8. Lägg till Formler, villkorliga utsagor typ:  
IF (<condition>, <result-if-true>, <result-if-false>)
9. Testa eller flexa kallas det i Revit. Man måste flexa hela tiden annars är det svårt att hitta var eventuella fel ligger.

## Bilaga 4



Eulers knäckfall. Eulers fyra knäckfall,

$F = p^2 \cdot EI / (kL)^2$ , där  $E$  är elasticitetsmodulen,  $I$  yttröghetsmomentet och  $k$  är en koefficient.

De fyra fallen visar från vänster till höger oledad stång, stång ledad upptill och nedtill, stång ledad endast upptill samt såväl upptill som nedtill i sidled fixerad stång [22].

I rapporten används förteckningen Beta,  $\beta$ , för infästnings faktor istället för  $k$ . Det finns olika förteckning för denna koefficient i olika litteratur.



## **Bilaga 5**

En bild av min pelare i Revit Building, tvärsnitt areor varierar beroende på både pålagd last och längd. Den minsta pålagda lasten på pelaren, med två meter längd, i bild är cirka 100 KN vilket ger det minsta tvärsnittets area.

