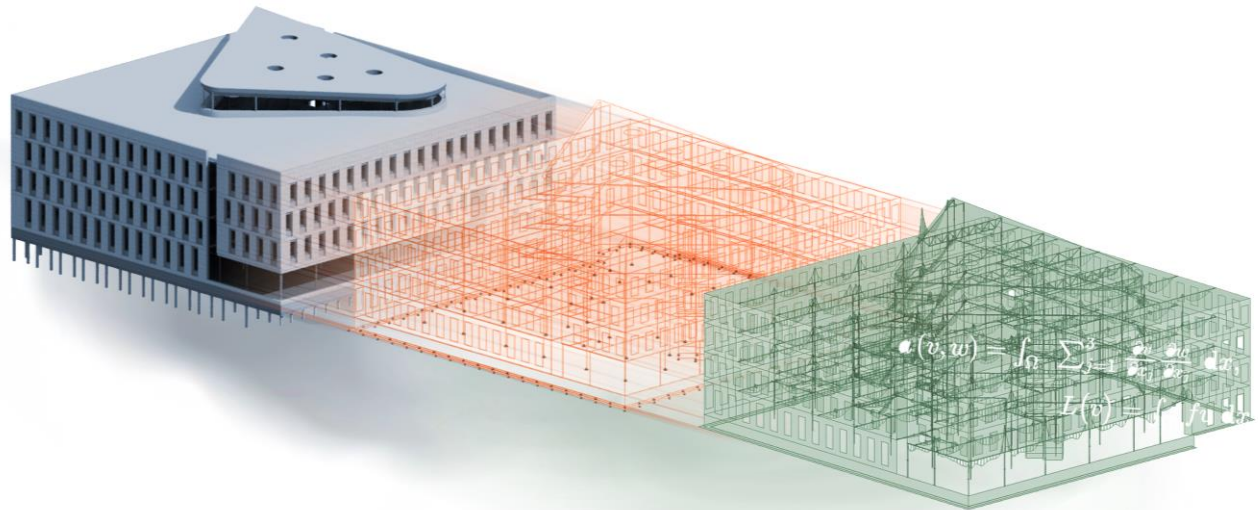




CHALMERS



En modell att räkna med att koppla samman BIM med beräkningsprogram

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

SIMON RASK

RASMUS ÖBERG

En modell att räkna med

att koppla samman BIM med beräkningsprogram

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

SIMON RASK

RASMUS ÖBERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för Construction Management
Chalmers TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2015

En modell att räkna med
att koppla samman BIM med beräkningsprogram
Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör
SIMON RASK
RASMUS ÖBERG

© SIMON RASK & RASMUS ÖBERG, 2015

Examensarbete 2015:69 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2015

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för Construction Management
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Illustration av länk mellan produktionsmodell och beräkningsmodell

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2015

En modell att räkna med
att koppla samman BIM med beräkningsprogram

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

SIMON RASK

RASMUS ÖBERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Construction Management

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Building Information Model (BIM) implementeras allt mer i byggbranschen och nya tillämpningar och möjligheter blir ständigt aktuella. Under projekteringsprocessen är en sådan tillämpning att inom konstruktionsarbetet överföra produktionsmodeller till beräkningsprogram för analys och dimensionering. Avdelningen Byggteknik på Ramböll i Göteborg är intresserade av att utreda de möjligheter som finns i dagens läge med denna teknik och hur den skulle påverka flödet inom projekteringsprocessen. I syfte att utreda den teoretiska bakgrunden till kopplingarnas funktion och för att skapa insikt om deras möjliga påverkan på projekteringsprocessen genomförs en litteraturstudie och en intervju med handläggande konstruktör på Ramböll. För att utröna styrkor och svagheter hos kopplingarna testas överföring av enklare modeller. Dessutom överförs och analyseras modeller från två aktuella projekt. Testerna begränsas till programvarorna Autodesk Revit 2015, Robot 2015 samt FEM Design 14.

Testerna visar att export av modeller till beräkningsprogram överlag fungerar väl, men att stora brister finns vid återimport till modelleringsprogram. Det är tydligt att ett omfattande och komplext arbete krävs för att göra en modell beräkningsbar inför export, men att det är möjligt att avsevärt underlätta arbetet genom att tidigt besluta om att modellen ska användas som beräkningsunderlag. Ett arbetssätt där produktionsmodellen exporteras för analys, varefter nödvändiga ändringar sker i modelleringsprogrammet och modellen exporteras på nytt, bedöms vara både kraftfullt och tillförlitligt. I en jämförelse mellan FEM Design och Robot bedöms det förstnämnda vara känsligare för avvikelser i modellen, vilket dock även minimerar risken för felaktigheter i analysen. I projekteringsprocessen innebär ett arbete med kopplingarna att modellering och dimensionering flyter samman till en och samma roll vilket bidrar till att skapa en helhetssyn och en mer integrerad arbetsprocess.

Nyckelord: analysmodell, BIM, dimensionering, FEM, projekteringsprocessen

A model to count on

connecting BIM with analysis software

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

SIMON RASK

RASMUS ÖBERG

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Construction Management

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) has seen increased adoption in the construction industry and new applications are constantly being implemented. In the design phase, one such application is the transfer of a design model to structural analysis software by the structural engineer. The Building Technology Department at Ramböll Gothenburg are interested in investigating the possibilities inherent in this new technology, and what impacts the adoption of which would have on the design process. To understand the theoretical underpinnings of the links between the software applications, as well as their impact on the design process, a literature review and an interview with a Senior Engineer will be performed. In order to ascertain strengths and weaknesses in the links, the transfer of simpler models will be evaluated, as well as models from two current projects. The tests will be limited to the software packages Autodesk Revit 2015, Autodesk Robot 2015 and FEM Design 14.

The tests reveal that the export of design models to analysis software generally works well, but that large flaws reveal themselves when attempting re-importing to modeling software. It is clear that extensive and complex adjustments are required to make a design model calculable in preparation for exporting, but the effort required can be greatly reduced by deciding on the linked workflow early on in the project. A workflow where the design model is exported for analysis, necessary changes are made in the design model that is then exported anew, is deemed to be both powerful and robust. When comparing FEM Design and Robot, the former is admittedly judged to be more sensitive to discrepancies in the analytical model. However, this also minimizes the risk of inaccuracies in the analysis. In the design process, adopting the linked workflow means that modeling and structural analysis are merged into one task, helping to facilitate a holistic perspective and a more integrated work process.

Key words: analytical model, BIM, dimensioning, FEM, design process

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	III
INNEHÅLL	IV
FÖRORD	VI
NOMENKLATUR	VIII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och frågeställningar	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Metod	2
2 BAKGRUND	3
2.1 Centrala begrepp	3
2.1.1 BIM	3
2.1.2 buildingSMART och IFC	3
2.1.3 FEM	4
2.2 Programvaror	4
2.2.1 Revit Structure – för modellering	4
2.2.2 Robot Structural Analysis Professional – för analys och dimensionering	5
2.2.3 FEM Design – för analys och dimensionering	5
2.3 Koppling mellan programvaror	5
2.3.1 Revit och Robot	5
2.3.2 Revit och FEM Design	6
2.4 Projekteringsprocessen	8
2.4.1 Byggprocessen i stora drag	8
2.4.2 Projekteringsprocessen i teorin	9
2.4.3 Projekteringsprocessen i praktiken	11
2.4.4 Projekteringsprocessen på Ramböll	12
3 UTVÄRDERING AV KOPPLINGARNA	15
3.1 Analysmodellen	15
3.2 Koppling mellan Revit och FD	22
3.3 Koppling mellan Revit och Robot	26

IV

3.4	Export och import av IFC	29
3.5	Testprojekt – Alelyckan	30
3.5.1	Förberedelse av analytisk modell	31
3.5.2	Analys med Robot	35
3.5.3	Analys med FEM Design	40
3.5.4	Utvärdering av beräkningar	46
3.6	Testprojekt – Humanisten	50
3.6.1	Förberedelse av analytisk modell	50
3.6.2	Analys med Robot	53
3.6.3	Analys med FEM Design	55
3.6.4	Utvärdering av beräkningar	56
4	KOPPLINGENS VÄRDE I PROJEKTERINGSPROCESSEN	57
4.1	Gemensam modell och informationshantering	57
4.2	Förändrade arbetsflöden	58
4.3	Möjligheter för konstruktören	59
4.4	Utmaningar och risker	60
5	SLUTSATS OCH DISKUSSION	62
6	REFERENSER	64

Förord

Detta examensarbete avslutar vår utbildning vid Högscoleingenjörprogrammet byggingenjör på Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg och omfattar 15 högskolepoäng. Projektet genomfördes mellan januari och maj 2015 på avdelningen Byggt teknik på Ramböll i Göteborg.

Vi vill tacka avdelningen byggt teknik på Ramböll Göteborg för många utvecklande och trevliga möten och fikastunder. Ett särskilt tack går till Maria Berg och Simon Carlsson som väglett och handlett oss genom projektet. Vi vill även tack Emma Friberg som hjälpt oss utvärdera våra resultat av projektet Alelyckan.

Vi vill också passa på att tacka vår handledare Mikael Johansson på avdelningen Construction Management för de råd och det stöd han bidragit med.

Avslutningsvis vill tacka våra studiekamrater för tre händelserika och utvecklande år. Vi önskar er all lycka!

Göteborg, juni 2015



Simon Rask



Rasmus Öberg

Nomenklatur

CAD	Computer Aided Design, samlingsbegrepp för datorbaserat modellerande och ritande
BIM	objektbaserad modell med samlad information om ett byggprojekt
IFC	universellt filformat för byggnadsmodeller
FEM	finita elementmetoden, approximativ beräkningsmetod för bärande element
Mesh	beräkningsnät för finita elementmetoden
A-modell	modell utformad av arkitekt
K-modell	modell utformad av konstruktör
Produktionsmodell	modell av byggnad som agerar underlag för produktionsritningar
Strukturmodell	visuell modell av byggnad som kan användas som ritningsunderlag
Analysmodell	analytisk modell av en byggnads bärande konstruktion
StruXML	filformat utformat av StruSoft för att länka modeller program emellan
SMXX	filformat utformat av AutoDesk för att länka modeller program emellan
Worksharing	arbetssätt för samarbete i gemensamma modell-filer i Revit
Workset	verktyg för att avgränsa modeller till olika användare i Revit
Centralfil	gemensam arbetsfil

1 Inledning

Detta kapitel beskriver bakgrunden till rapporten, syfte och frågeställningar, vilka avgränsningar som gjorts och vilken metod som använts.

1.1 Bakgrund

Building Information Model (BIM) har fått ökat genomslag i byggbranschen och förändrat arbetssättet i industrin, framförallt genom att revolutionera modellering och ritningshantering. Byggnadskonstruktörer möter idag allt större krav på effektiv informationshantering och mer avancerade analyser. En snabb utveckling av möjligheten att överföra data mellan modelleringsprogram och beräkningsprogram har skapat nya möjligheter att integrera konstruktionsberäkningar i arbetet med BIM. Genom att utnyttja befintliga produktionsmodeller som underlag för beräkningar uppstår en potential till samordningsvinster, i form av minskat dubbelarbete och bättre informationsdelning. Avdelningen Byggteknik på Ramböll i Göteborg arbetar med att konstruera olika typer av huskonstruktioner och vill utreda ytterligare möjligheter att integrera BIM och avancerade beräkningsprogram i arbetsprocessen.

1.2 Syfte och frågeställningar

Syftet med rapporten är att utröna hur en koppling mellan modellerings- och beräkningsprogram kan användas för att integrera konstruktionsarbetet i en BIM-orienterad arbetsprocess. För att åstadkomma detta kommer kopplingarnas styrkor och svagheter att utredas och eventuella förändringar i projekteringsprocessen att analyseras.

För att besvara syftet har följande frågeställningar formulerats

- *Hur kan BIM och konstruktion integreras genom att koppla samman modelleringsprogram och beräkningsprogram?*
- *Vilka styrkor och svagheter finns för kopplingarna mellan modelleringsprogram och beräkningsprogram?*
- *Vilken inverkan kan användning av kopplingarna ha på projekteringsprocessen?*

1.3 Avgränsningar

*Undersökningarna kommer att begränsas till att vad gäller programvaror omfatta modelleringsprogrammet *Autodesk Revit Structure 2015* (Revit) och beräkningsprogrammen *Autodesk Robot Strucural Analysis Professional 2015* (Robot) samt *StruSoft FEM Design 14* (FD). Programmen länkas samman med Autodesk Structural Analysis Link respektive StruSoft StruXml Revit Add-In.*

Avgränsningen motiveras med att programmen är marknadsledande och dessutom är standardprogram på Ramböll Byggt teknik Göteborg. Undersökningen kommer för att göras överskådlig att omfatta huskonstruktioner med stålstomme och betongbjälklag och avse både export och import från de olika programvarorna. Med avseende på projekteringsprocessen kommer rapporten fokusera på konstruktörens roll i denna, då det är detta som är av relevans för Ramböll. Rapporten kommer även att undersöka möjligheterna att överföra data med hjälp av det öppna filformatet IFC.

Programvara	Version
Revit Structure 2015	20141119_0715(x64), Update Release 5
Robot Structural Analysis Professional 2015	28.0.5.5614 (x64)
Koppling: Structural Analysis Link	2015.0
FEM Design 14	14.00.004
Koppling: StruXml Revit Add-In	1.1.003

Tabell 1: Använda versioner av respektive programvara.

1.4 Metod

Information om projekteringsprocessen och den tekniska bakgrunden till de olika programvarorna, inhämtas genom en litteraturstudie. För att inhämta mer praktiska perspektiv på projekteringsprocessen i allmänhet och Rambölls perspektiv i synnerhet, kommer en intervju med Maria Berg, Senior Consultant på avdelningen Byggt teknik på Ramböll i Göteborg att genomföras. I syfte att utreda de olika kopplingarnas funktion kommer en serie tester att utföras, först avseende enklare konstruktioner, för att sedan omfatta två aktuella projekt på Byggt teknik. I syfte att utvärdera kopplingarnas förmåga att hantera olika typer av problematiker kommer projekten att skilja sig åt avseende storlek och komplexitet, men även rörande vilket stadiet i projekteringsprocessen som de befinner sig i. För att inhämta aktuell information om kopplingarnas funktionssätt kontaktas StruSofts respektive Autodesk's support.

2 Bakgrund

I detta kapitel presenteras resultatet av litteraturstudien, intervjun och den teoretiska bakgrund rapporten grundar sig i.

2.1 Centrala begrepp

Utökade möjligheter med nya programvaror och nya arbetsmetoder i byggbranschen skapar också nya begrepp och ett nytt fackspråk, BIM och IFC är två av dessa nya begrepp. Vidare beskrivs även finita elementmetoden eller FEM.

2.1.1 BIM

BIM är en förkortning för byggnadsinformationsmodell. Det finns flera formulerade definitioner av begreppet, men dess innebörd är en virtuell, digital modell av ett byggnadsverk, där ingående komponenter hanteras som objekt, med tillhörande egenskaper och relationer till övriga objekt modellen. Informationen i modellen ska kunna användas och delas (Jämför Granroth, 2011, Nordstrand, 2007 och US National BIM Standard Project Committee, u.å.). Då en virtuell avbild av byggnadsverket skapas är det naturligt att visa denna i 3D för användaren. Varje 3D-modell är inte en BIM, men en BIM bör innehålla all nödvändig information som krävs för att den ska kunna åskådliggöras i tre dimensioner. Den information om byggnadsverket som förs in i modellen kan beskriva material, inklusive bärförmåga och termiska egenskaper, tidsåtgång vid montering, ekonomiska data och underhållsbehov. Även omgivningen kan beskrivas, med avseende på sol och klimat, markförhållanden samt befintliga konstruktioner. Slutligen kan ingående data delas med berörda parter, eller användas som underlag, till exempel för simulering av energiprestanda eller i konstruktionsberäkningar. Då BIM är en databas, kan resultaten av sådana analyser återföras till modellen. Ritningar i 2D kan framställas ur modellen genom att specificera var i modellen, och i vilken vinkel och med vilket djup som den ska betraktas. För att realisera den fulla potentialen med BIM är det viktigt kunna utbyta program mellan olika programvaror, vilket underlättas om öppna filformat används (Granroth, 2011).

2.1.2 buildingSMART och IFC

buildingSMART, tidigare Industry Alliance for Interoperability, är en världsomspännande organisation som arbetar för gemensamma standarder för informationsutbyte, kategorisering och filformat inom BIM (buildingSMART, u.å.a). IFC eller *Industry Foundation Classes* är ett filformat utvecklat av organisation som är ISO-certifierat (buildingSMART, u.å.b). Genom ett enande kring ett standardiserat, öppet filformat kan samarbetet mellan olika programvaror utvecklas och på så vis även BIM. Ett öppet filformat gör att användare av formatet inte riskerar att bli

utlämnade till en enda tillverkare, och skapar goda möjligheter för fri konkurrens (The Linux Information Project, 2006).

2.1.3 FEM

FEM står för *finita elementmetoden* och är en numerisk metod för att approximativt lösa partiella differentialekvationer och integralekvationer med en dators hjälp. Det objekt som ska beräknas delas upp i ett antal delområden, så kallade *finita element*, över vilka det analyserade problemet kan förenklat kan uttryckas som en linjär, kvadratisk eller kubisk funktion. På detta sätt åstadkoms en approximativ lösning av det aktuella problemet. Då beräkningarna baseras på noggranna geometriska modeller av de objekt som ska analyseras finns goda möjligheter att kombinera FEM med en representation av en byggnad i en BIM (Nationalencyklopedin, 2015).

2.2 Programvaror

Denna studie av hur konstruktionsanalyser kan implementeras i en BIM har avgränsats till en modelleringsprogramvara och två programvaror för analys och dimensionering. I detta kapitel presenteras dessa programvaror.

2.2.1 Revit Structure – för modellering

Revit Structure är en del av programsviten *Revit in Building Design* och utvecklas av Autodesk. Programvaran är utformad för byggdesign och konstruktion. Modellen som skapas är dels en produktionsmodell som är möjlig att använda som underlag för ritningsproduktion, men innehåller också olika egenskaper för de olika objekten i modellen, kallade familjer. Sådana egenskaper kan vara material, energiprestanda och kostnader, för att ta några exempel. Familjer som är relevanta för strukturmekaniska beräkningar åskådliggörs också med linjer och plan i en analytisk modell. För att underlätta samarbete mellan flera konstruktörer i ett projekt finns möjligheten att använda sig av centralfiler. En centralfil placeras på en nätverksdisk och flera användare kan sedan arbeta mot denna fil. Konflikter och behörigheter hanteras genom att användarna arbetar i olika områden, kallade Worksets, i modellen och det är även möjligt att följa historiken över ändringar i filen.

I Revit Structure 2015 finns möjlighet att göra enklare analyser med insticksmoduler och genom överföring av analysmodell till externa beräkningsprogram ges möjlighet till mer avancerade analyser och dimensionering av konstruktionen. Under detta examensarbets gång har ytterligare en version, Revit Structure 2016, lanserats där möjligheter till analys av konstruktionen har utökats utan att koppla Revit till separat beräkningsprogram (Autodesk, 2015a). Eftersom de separata beräkningsprogrammen fortfarande erbjuder möjlighet till mer avancerade analyser anses en koppling mellan Revit och beräkningsprogram fortfarande vara aktuell.

2.2.2 Robot Structural Analysis Professional – för analys och dimensionering

Robot Structural Analysis Professional utvecklas av Autodesk och används för analys av alla typer av konstruktioner. Likt FEM Design kan Robot hantera olika lastkombinationer och ta hänsyn till egentyngd hos de olika elementen i konstruktionen. Det finns också inbyggda funktioner för dimensionering och armering av betong samt ståldesign utifrån aktuella normer (Autodesk, 2015b).

2.2.3 FEM Design – för analys och dimensionering

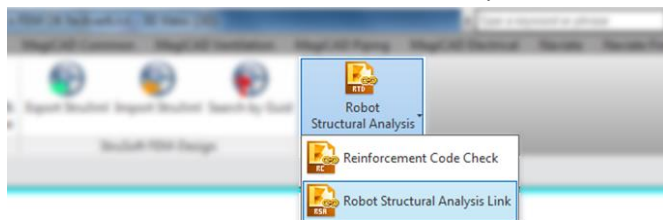
FEM Design utvecklas av StruSoft och är en beräkningsprogramvara för byggindustrin (StruSoft, 2015). Med FEM Design kan olika bärande konstruktioner analyseras med finita element metoden. Möjlighet finns att på olika sätt presentera och analysera resultaten. Programmet kan också automatiskt utvärdera olika element i konstruktionen och föreslå lämpliga tvärsnitt.

2.3 Koppling mellan programvaror

Mellan de olika programvarorna som presenteras finns mjukvara för att koppla samman dessa och överföra modeller, fram och tillbaka. Här beskrivs hur överföringen är utvecklad för Revit – FD och för Revit – Robot.

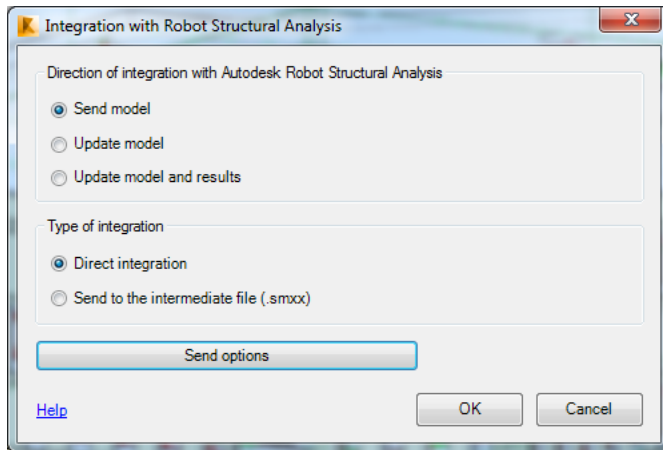
2.3.1 Revit och Robot

Överföringen mellan Revit och Robot sker med *Robot Structural Analysis Link*, som är en del av *Autodesk Structural Analysis Toolkit*.



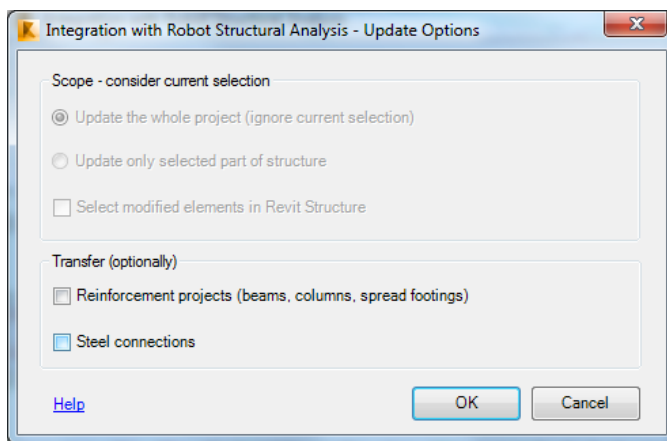
Figur 1: Ikoner i Revit under fliken Analysis.

Exporten från Revit till Robot sker direkt genom länken. Inga separata filer skapas och modellen öppnas direkt i Robot. På samma sätt kan en modell skapad i Robot skickas till Revit. Det är också möjligt att efterhand uppdatera modellen, både i Revit och i Robot för att justera eventuella förändringar som skett i modellen.



Figur 2: Dialogruta i Revit, visar val vid länkning.

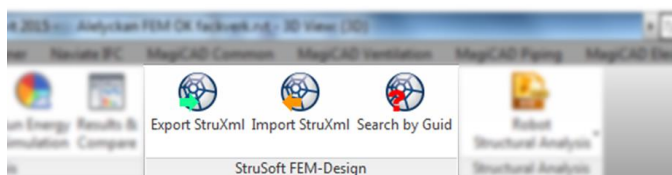
Möjlighet finns att endast exportera markerade delar av modellen, att exportera egentyngd och att välja om vissa speciella delar av modellen ska exporteras eller inte. Om användaren så önskar är det möjligt att spara modellen som en fil med ändelsen .smxx för import till Robot, vilket gör det möjligt att överföra filen till en annan dator.



Figur 3: Dialogruta i Revit, Send options.

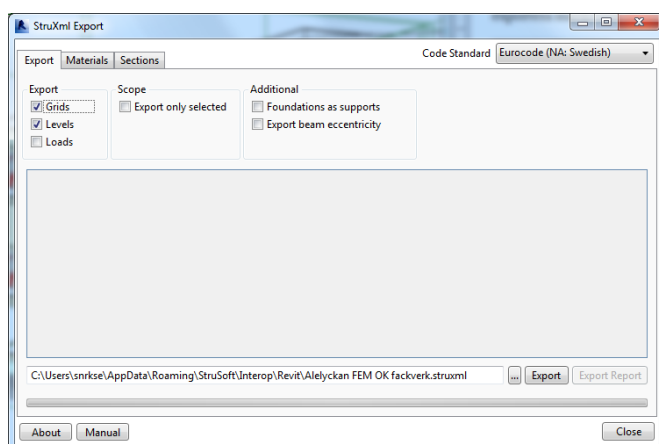
2.3.2 Revit och FEM Design

För att länka samman Revit och FD installeras ett insticksprogram i Revit kallat *StruSoft StruXml Revit Add-In*, som utvecklats av StruSoft. Insticksprogrammet skapar en ny ikon under fliken *Analysis* i Revit, där det är möjligt att exportera och importera filer i formatet StruXML, vilket är ett av StruSoft utvecklat XML-format som används för att kunna kommunicera programmen emellan.

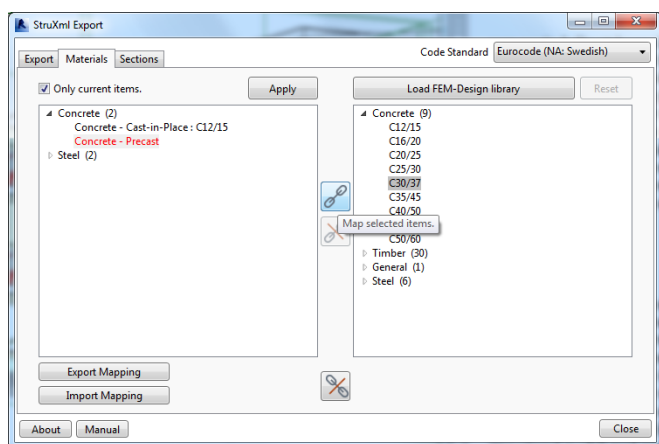


Figur 4: Ikoner i Revit under fliken Analysis.

Vid export och import är det nödvändigt att specificera vilka tvärsnitt och material i FD:s bibliotek som motsvarar de som modelleras i Revit. Verktøget överför alltså inte dessa data direkt från modellen i Revit, utan de måste manuellt översättas av användaren. Inställningarna går dock att spara för användning i senare projekt och när de väl är gjorda i ett Revitprojekt sparas de till framtida exporter och importer i projektet. De flesta vanligt förekommande elementen hanteras av verktøget och egenskaper såsom infästningsvillkor och excentricitet bevaras också. Det är möjligt att exkludera viss information från export, som nivåer, laster och excentriciteter samt att endast exportera markerade delar av modellen. Vidare är det med verktøget *Search by Guid* möjligt att lokalisera element utifrån det unika ID element får vid export till StruXML, vilket underlättar vid arbete i de båda programmen.



Figur 5: Dialogruta i Revit, visar val vid länkning.



Figur 6: Dialogruta i Revit, fliken Materials och manuella kopplingar av material.

Elementens tvärsnitt, material och övriga egenskaper sparas i XML-filen, tillsammans med uppgifter om objektets position och utbredning i rummet. När filen sedan öppnas i FD, eller importerats med hjälp av StruSofts tillägg till Revit, ritas programmen upp elementen enligt vad som anges i filen. Vid import till Revit ritas alla element som återfinns i filen upp, oavsett vilka element som redan existerar i projektet. Det är alltså inte möjligt att uppdatera ändringar som gjorts i FEM på en modell som ursprungligen exporterats från Revit, utan vid import behöver ett helt nytt projekts skapas. Vissa möjligheter finns att i FD uppdatera en från Revit importerad modell med senare **CHALMERS**, *Bygg- och miljöteknik*, Examensarbete 2015:69

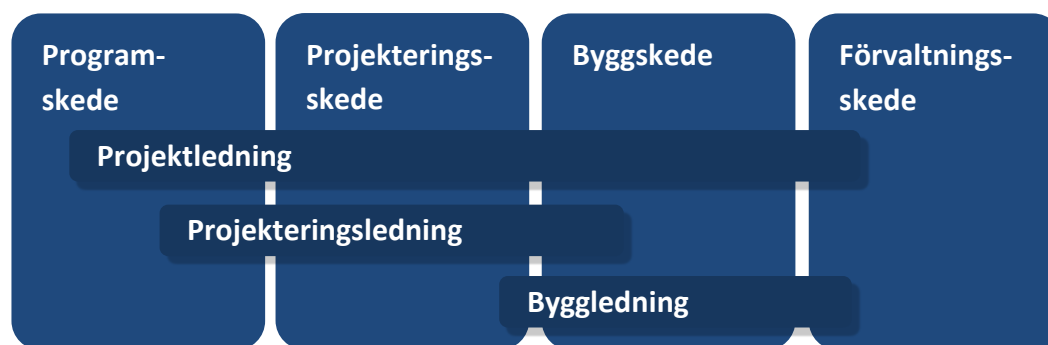
ändringar gjorda i Revit. Detta åstadkoms genom att använda sig av *Edit* → *Update File* i FD. I kommande versioner planeras att implementera möjligheter att även uppdatera en modell i Revit direkt från FD¹.

2.4 Projekteringsprocessen

Det här kapitlet avser att ge en allmän beskrivning av projekteringsprocessen, den del av byggprocessen där konstruktörer arbetar parallellt med arkitekter och andra konsulter för att presentera en lösning som uppfyller de mål och förutsättningar som ges för ett byggprojekt. Först ges en sammanfattning av hela byggprocessen, varefter en fördjupning sker i projekteringsprocessen i teori och praktik. Kapitlet avslutas med redogörelsen för resultatet av den intervju som utfördes med Maria Berg på Ramböll.

2.4.1 Byggprocessen i stora drag

Med byggprocessen menas det förlopp från att beslut fattas om att bygga till dess att byggnaden sätts i drift och sedan brukas (Stintzing, 2005). Detta förlopp delas vanligen upp i olika skeden. Hur förloppet delas upp och vilka skeden som beskrivs varierar. Det är rimligt att anta att då olika byggprojekt varierar, varierar även processens skeden och omfattning. Denna rapport delar in byggprocessen i fyra olika skeden.



Figur 7: Illustration av byggprocessens olika skeden och dess ledningsgrupper (Nordstrand, 2007).

Vid ett upptäckt behov av nybyggnad eller en förändring av en byggnad påbörjas byggprocessen. Den som är i behov av och tänker låta starta upp bygget intar då rollen som byggherre. Under programskedet utreds byggherrens mål med projektet samt vilka förutsättningar som finns för byggprojektet. Vid mindre projekt ansvarar byggherren själv för dessa utredningar, vid större projekt kan det vara aktuellt att anlita en projektledare. Vanligt är då att projektledaren arbetar vidare med projektet genom både projekteringskede och byggskede. Programskedet leder fram till ett byggnadsprogram, ett dokument som redovisar kända förutsättningar och krav som

¹ Kontakt med StruSoft support via mail 2015-03-17

finns för byggnadens utformning i enlighet med byggherrens uppsatta mål (Nordstrand, 2007).

Nästa steg i byggprocessen är *projekteringsskedet*. I projekteringsskedet bestäms en lösning som uppfyller de mål och förutsättningar som redovisats i byggnadsprogrammet. I detta skede arbetar ofta olika typer av konsulter med rätt kompetens för de utmaningar som byggprojektet innefattar. Några exempel på konsulter är arkitekter, byggnadskonstruktörer, geotekniker, VVS-konstruktörer och El-konstruktörer. Tillsammans arbetar dessa fram ritningar och beskrivningar som slutligen utmynnar i de bygghandlingar vilka är ett underlag för entreprenörerna i byggskedet. Bygghandlingarna till ett byggprojekt ska förmedla information mellan de olika medverkande i byggprocessen (Nordstrand, 2007).

Innan byggskedet börjar sker en upphandling av entreprenad. Efter att ett avtal slutits mellan byggherre och byggentreprenör kan byggskedet börja. Entreprenören utgår nu från bygghandlingarna för att genomföra projektet. Informationen från de tidigare skedena används genom hela byggprojektet, både för att producera byggnationen även under brukstiden, då byggnaden ska förvaltas (Nordstrand, 2007).

Förvaltningsskedet börjar då den egentliga byggprocessen är slut, det vill säga då byggnaden är färdigställd och överlämnats till byggherren. Förvaltning delas ofta in i drift och underhåll. Drift är den del som krävs för att funktioner så som vatten och avlopp, elektricitet, ventilation, uppvärmning och avfallshantering ska fungera. För att bevara det ekonomiska värdet av byggnaden krävs felavhjälpan och förebyggande åtgärder, underhåll. Genom ett aktivt arbete med underhåll av byggnaden går det att undvika akuta och kostamma åtgärder (Svensk Byggtjänst, u.å.).

2.4.2 Projekteringsprocessen i teorin

Syftet med projekteringen är att överbrygga avståndet mellan byggnadsprogrammet abstrakta krav och önskemål och den materiella, färdigställda byggnaden. Processen innehåller tre stycken värdeskapande element: informationsinhämtning, framtagandet av tekniska lösningar, och presentationen av dessa. Den informationsmassa som dessa tre element utgör är i sig en produkt, en icke-materiell sådan (Stintzing, 2005).

En byggnad är egentligen en samling av i grunden väldigt olika tekniska system, såsom bärande element, ventilation och el. Det är inte heller bara den rent tekniska funktionen som är av intresse för beställaren, utan även estetiska värden är av stor vikt. Då varje område ställer höga krav på teknisk respektive estetisk kompetens, har en omfattande specialisering växt fram, med specialiserade konsulter inom konstruktion, el och VVS, och arkitekter som ansvarar den övergripande utformningen av byggnaden. Eftersom de olika delarna ska sammanställas till en fungerande helhet, är de olika konsulterna beroende av varandras arbete. Detta ställer stora krav på samordning, vilket gör processen komplex (Nordstrand, 2007).

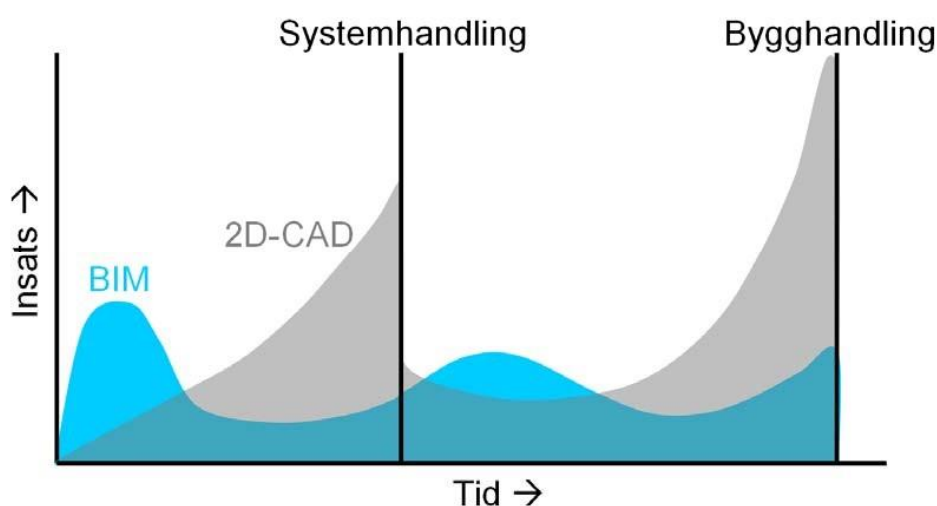
Information hämtas från en mängd olika källor. En del finns i byggnadsprogrammet, en del inhämtas från leverantörer och en del finns i konsultens fackkunskaper. Informationen måste behandlas och värderas, så att relevanta data kan lyftas fram och irrelevanta dito sorteras bort. Syftet är att den ska vara tillgänglig för de personer som behöver den, och vid rätt tidpunkt. När väl information är samlad och behandlad, är uppgiften att omvandla denna till kunskap. Detta sker genom de värdeskapande processer, vilka utgör konsultens existensberättigande. Exempel på sådana är att analysera informationen, identifiera tänkbara lösningar, utreda dessa och öka detaljeringsgraden i det vinnande förslaget tills det kan produceras (Stintzing, 2005).

På det praktiska planet kan detta implementeras på olika sätt. Tidigare användes ritningar och skriftlig dokumentation på papper för att dokumentera relevant information, vilka sedan även kunde användas för att kommunicera den. Med hjälp av CAD (Computer Aided Design) blev det möjligt att använda datorer i ritningsarbetet, och att kommunicera med hjälp av den elektroniska datan, via e-post eller portabla fysiska lagringsmedium. Mer sofistikerade lösningar har växt fram, såsom möjligheten att lagra datan på en för alla i projektet åtkomlig server. Från början var CAD baserat på ritningen som idé, och data bestod av linjer på en virtuell pappersritning. Detta innebar att mycket information fick dokumenteras i olika former av bilagor till ritningarna. Genom att istället utgå ifrån CAD-filen som en modell av en byggnad blir det möjligt att föra in mycket av denna information i modellen, vilket är grundtanken med BIM (Nordstrand, 2007). Även i skapandet av kunskap går det att använda olika verktyg. Om informationen samlas i en BIM ges konsulten nya verktyg i sitt analytiska och utredande arbete, till exempel möjligheten att simulera vissa förlopp eller att göra analyser på insamlad data.

För konstruktören är uppgiften att säkerställa att byggnaden klarar av att bära upp de laster som kommer att verka på den, utan brott eller dålig funktion i något av elementen eller i strukturen som helhet. Avgörande för konstruktionens prestanda är ingående material, enskilda elements dimensioner och placering, samt hur de olika elementen är sammanfogade med varandra. Hur hållfastheten för olika konstruktioner ska beräknas är kodifierat i Eurokoderna, för Europa gemensamma regler för dimensionering av bärande strukturer. Det finns olika metoder för att ta fram rätt dimension för de olika bärande elementen. Ett arbetssätt är att manuellt ställa upp de aktuella ekvationerna, och sedan utföra beräkningarna för hand. Nya programvaror har dock gett konstruktören möjlighet att med datorns hjälp genomföra beräkningar på mer avancerade konstruktioner. Eftersom ändringar uppstår under projekteringsprocessen är arbetet med att dimensionera konstruktionen en iterativ process. Genom att länka produktionsmodellen till ett beräkningsprogram kan arbetsprocessen bli smidigare och förenkla dessa upprepade beräkningsprocedurer (Autodesk, 2014).

2.4.3 Projekteringsprocessen i praktiken

Med nya verktyg för utvärdering av byggnader finns nya möjligheter som kan innebära förändrade arbetsflöden. De nya beräkningsprogrammen gör det möjligt att genomföra avancerade analyser av konstruktioner som utförda med handberäkningar skulle bli alldeles för tidskrävande. Likt tidigare måste resultaten av analyserna ändå tolkas och utvärderas utifrån rimlighet så att brister och fel undviks. Detta ställer krav på både kunskap och erfarenhet hos konstruktören (StruSoft, 2010). I projektering med BIM kan de nya verktygen direkt kopplas till modellen. Det finns flera fördelar med att arbeta utifrån samma BIM. I ett försök att arbeta med BIM i armeringsprocessen konstaterades att ritningar ofta manuellt överförs mellan de olika aktörerna (OpenBIM, 2011). Genom att implementera BIM minskas risken av fel vid återinföring av data då denna samlas i samma modell. En jämförelse kan göras med överföring av arkitektens ritningar till konstruktörens beräkningsmodell. Den manuella överföringen av data är ineffektiv och innebär risk för fel. I rapporten *BIM istället för 2D CAD* menar författaren att även om arbetsinsatsen i början av projekteringsprocessen ökar så minskar den totala arbetsbelastningen vid användning av BIM (Jongeling, 2008).



Figur 8: Diagram för arbetsbelastning under projekteringsprocessen, BIM jämfört med 2D-CAD (Jongeling, 2008).

Vidare ses det också att arbetsprocessen förändras vid projektering med BIM. Det arbete som tidigare krävde en ritare och en konstruktör görs nu av en och samma person. Akademiska hus (2013) beskriver i sin BIM-instruktion för projektledare olika tillämpningar för BIM, men också hur modellen måste anpassas för att göra dessa möjliga. Olika tillämpningsområden ställer olika krav på modellen. Det är därför viktigt att dessa tillämpningsområden väljs så att rätta krav upprättas tidigt i projektet. För att konstruktören ska kunna genomföra en analys av modellen måste den vara anpassad för att kunna analyseras. Därför bör konstruktören definiera dessa krav på det underlag som arkitekten levererar.

2.4.4 Projekteringsprocessen på Ramböll

Maria Berg arbetar som Senior Consultant på avdelning Byggt teknik på Ramböll i Göteborg och har en gedigen erfarenhet av projekteringsprocessen. Detta gäller både i det praktiska utförandet och som hand- respektive uppdragsledare för olika projekt.

Rambölls avdelning för byggt teknik anlitas som konsulter för att utforma bärande konstruktioner för olika typer av byggnader. I projekteringsprocessen innebär detta ofta att Ramböll tar vid då konstruktion och utformning av byggnaden delvis redan är bestämd av beställaren. Uppgiften blir då att se över och dimensionera de olika bärande elementen. Detta kan innebära vissa förändringar i både konstruktionen av det bärande systemet och i vissa fall även i utformningen av byggnaden. Senare förändringar i byggprocessen kräver ofta dyrare lösningar, varför det är att föredra att konstruktören tidigt i projekteringsprocessen får vara delaktig i både konstruktionen och utformningen av byggnaden.

I det praktiska arbetet med att utvärdera och dimensionera bärande konstruktioner utgår konstruktören oftast från arkitektens ritningar, vilket vid ombyggnad även innebär äldre ritningar på den befintliga konstruktionen. Vanligast är att underlaget är i form av 2D-ritningar. Detta innebär att Ramböll själva ofta ritat upp en modell av byggnaden då beställaren vanligen saknar modelleringsresurser. Eftersom detta är vanligt i branschen är också konstruktören ofta ägare av modellen och inte beställaren, som endast erhåller de ritningar som specificeras i avtalet. Det kan göra det svårt att få tag på modeller av befintliga byggnader då beställaren själv ofta inte har tillgång till dessa.

Den interna arbetsfördelningen i projekt varierar, mycket beroende på projektets omfattning, beställaren och dennes kunskap i förhållande till de krav projektet ställer. I de mindre projekten kan en och samma person leda uppdraget, utforma konstruktionen samt sköta administration och kontakt med beställare. I större projekt är uppdragsledaren endast projektansvarig och deltar själv inte i det praktiska arbetet. Ambitionen är att låta de engagerade i projekt vara så delaktiga som möjligt i både modellering och dimensionering, detta för att skapa en bättre förståelse samtidigt som de anställda utvecklas inom projektet och som konstruktörer. I större projekt kan det vara svårt eftersom projektet behöver delas upp på ett rationellt sätt, varför det blir naturligt att konstruktörerna i projektet får en mer specialiserad roll och ofta antingen ritat eller räknat. Beräkningarna kan i sig vara svår att dela upp eftersom alla delar av det bärande systemet är beroende av varandra. I modelleringen är det ofta möjligt fördela arbetet genom att dela upp byggnaden mellan flera konstruktörer, vilket endast kräver samordning där de olika delarna möts.

I början av ett nytt projekt sker en konstruktionsgenomgång där uppdragsledare och konstruktörer ser över förutsättningarna för byggnaden och resonerar kring vilka delar som kommer att vara dimensionerande. Det avgörs också hur byggnadens stabilitet

ska säkras. Uppdragsledaren har ett övergripande ansvar, men lämnar många frågor till konstruktörens omdöme, för att denne ska få fatta självständiga beslut och därigenom stärkas i sin yrkesroll. För att bestämma en struktur för byggnaden görs sedan förenklade handberäkningar för att bestämma ungefärliga dimensioner. Med dessa dimensioner som grund skapas en mer detaljerad modell av byggnaden, vilken kan analyseras och ge mer exakta värden att utgå från för den slutgiltiga dimensioneringen. Arbetet är iterativt då element ändras och modellen beräknas om flera gånger tills alla ändringar är klara och slutgiltiga dimensioner har valts. I projekt där modellerings- och dimensioneringsarbetet görs av olika personer sker ofta dessa processer parallellt, det vill säga två olika modeller ritas upp samtidigt, där en är en modell ritas upp beräkningsprogrammet för att användas som underlag för analys och en är en produktionsmodell som används för att producera ritningar och detaljer. Detta innebär att båda modellerna förändras under arbetets gång och detaljer behöver justeras allt eftersom dimensioneringen av konstruktionen slutförs. Då produktionsmodellen ofta påbörjas innan beräkningarna är färdiga bygger den till en början på kvalificerade gissningar om hur den slutgiltiga strukturen kommer att se ut, vilket är en anledning till att modellen behöver revideras. Ändringar i strukturen sker också under processen på önskemål från beställaren och övriga engagerade discipliner. Det ställer höga krav på samordning mellan de två modellerna för att säkerställa att de är med varandra överrensstämmande.

BIM blir allt vanligare i branschen och 2D ritningar är något som håller på att fasas ut. Detta innebär också en förändring av informationsflödet under projekteringsprocessen. För att hålla alla aktörer uppdaterade hålls projekteringsmöten varje vecka då de olika disciplinerna kommer överens sinsemellan och med beställaren om ändringar. Den digitala överföringen av information sker ofta med en gemensam databas där involverade aktörer kan ladda ner och ladda upp filer. Detta sker oftast inför projekteringsmöten.

Angående användning av BIM ser Ramböll en utökad användning men också utmaningar som måste hanteras för att det ska bli fullt möjligt. BIM har i projekt använts för att kunna mängda men inte för analyser och det finns begränsade erfarenheter av de befintliga kopplingarna mellan modelleringsprogram och beräkningsprogram. Det är numera regel att arbeta med 3D-modellering i till exempel Revit, men de mer avancerade möjligheterna till analys och informationshantering som programmen erbjuder utnyttjas inte. En svårighet i projekt med ambitioner om att använda BIM är att någon konsult ofta saknar rätt programvaror för att kunna arbeta med modellen. Det blir då upp till beställaren att ställa krav på inhyrda konsulter och följa upp de kraven, att hitta de konsulter som har rätt kompetens och programvaror för att fullt ut kunna utnyttja fördelarna med BIM. För Ramböll blir utmaningen att kunna erbjuda specifika kompetenser i de olika programvaror som krävs av

beställaren i olika projekt, så att det finns tillgängliga konstruktörer med kunskaper i till exempel Revit när detta är ett krav.²

² Intervju med Maria Berg, Senior Consultant på avdelning Byggt teknik, Ramböll i Göteborg

3 Utvärdering av kopplingarna

I kapitlet beskrivs hur den analytiska delen av Revitmodellen fungerar, samt hur denna kan kopplas till olika programvaror för att användas i beräkningar. Först förklaras detta på ett abstrakt plan, varpå en redogörelse för en tillämpning av tekniken i två projekt följer.

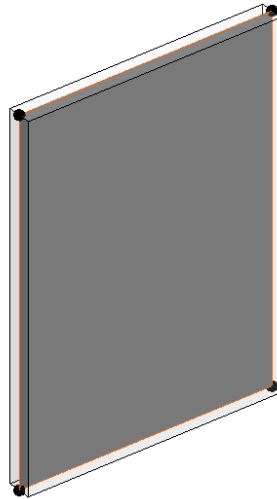
3.1 Analysmodellen

Som tidigare har diskuterats består en BIM utav olika objekt som placeras i ett tredimensionellt rum. Objekten har förutom sin geometri och inbördes placering även olika egenskaper. Till exempel kan det röra sig om olika materialegenskaper eller uppgifter om kostnader.

När en konstruktör arbetar med en BIM är målet för det mesta endast att skapa en representation av ett befintligt eller tilltänkt byggnadsverk, som i slutändan behöver vara tillräckligt detaljerad och exakt för att kunna användas i produktion. Det är alltså viktigt att de olika objekten, såsom balkar och bjälklag, har en korrekt utsträckning i rummet, och att deras tvärsnitt definieras på rätt sätt. På detta sätt blir det möjligt att genom att beskåda modellen på olika sätt, antingen i 3D eller i olika sektioner, använda den som underlag för olika beslut och utföranden.

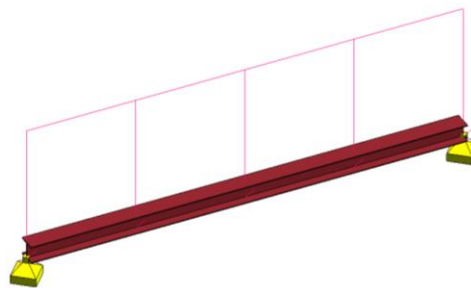
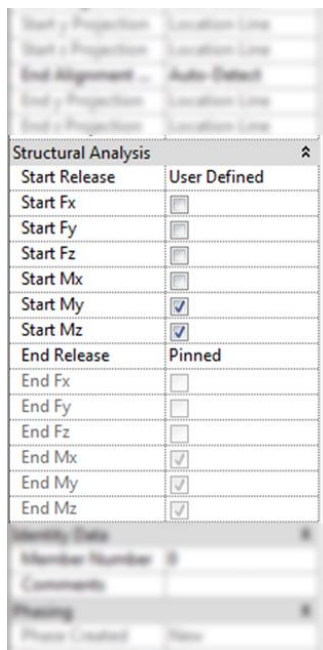
Modellen behöver vara korrekt i de avseenden som den är tänkt att användas för. Om en BIM exempelvis inte är tänkt att användas som underlag för en solstudie, behöver den inte innehålla korrekta uppgifter om den geografiska placeringen av byggnadsverket. Om en konstruktör har för avsikt att använda modellen som underlag för hållfasthetsanalys, ställer det vissa speciella krav på modellen för att denna ska fungera på ett adekvat sätt.

Strukturella objekt i Revit kan ställas in att vara en del av den *analytiska modell* som är en speciell vy i programmet. De strukturella element som inkluderas beskrivs i den analytiska modellen med linjer eller plan, och det analytiska och det strukturella ses som två aspekter av ett och samma objekt.



Figur 9: Vegg där strukturell modell gjorts transparent för att visa dessa analytiska element

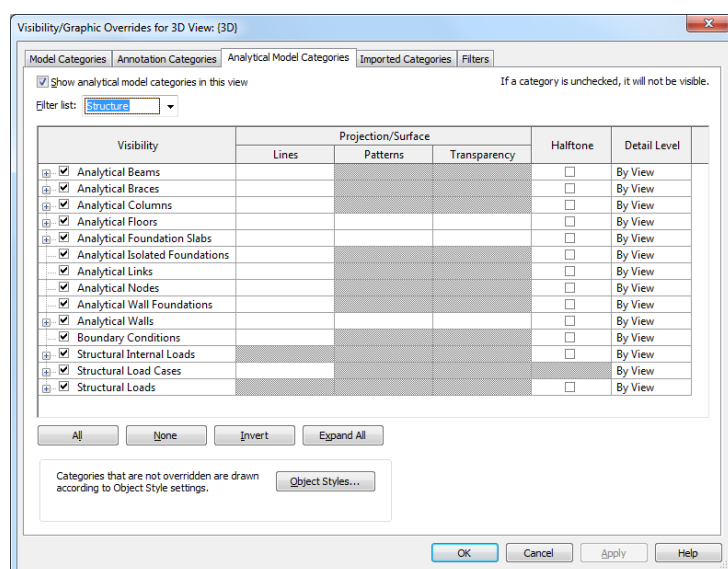
I Revit går det under *Properties* markera ett strukturellt objekt och i rullisten enkelt välja eventuella tillhörande analytiska element. Förutom linjerna och planen finns i den analytiska modellen även analytiska noder, som är ändpunkter på analytiska element, och det går även att placera ut stöd i sådana noder, samt längs linjer och ytor. För pelare och balkar är det också möjligt att välja infästningsvillkor. Slutligen är det möjligt att definiera laster i Revit.



Figur 10: Balk med stöd samt linjelast.

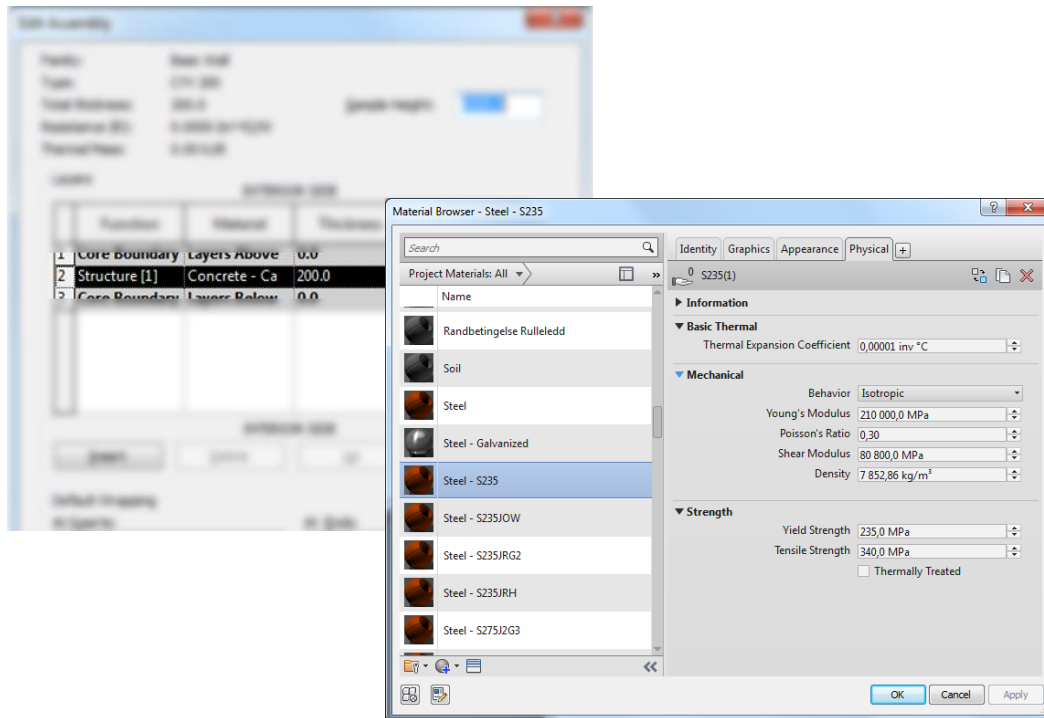
Figur 11: Inställningar för Structural Analysis i Revit.

Det är inte möjligt att fritt modellera analytiska linjer och plan, utan det är endast möjligt att i viss utsträckning modifiera den analytiska representationen av strukturella objekt. Den analytiska modellen är alltså en förlängning av den mer bekanta, strukturella 3D-modellen. Genom kommandot *Visibility/Graphics* är det möjligt att välja vilka aspekter av modellen som för tillfället ska visas i Revit, och användaren slipper på detta sätt distraheras av de analytiska delarna när denne endast vill arbeta med strukturmodellen.



Figur 12: Dialogruta i Revit, *Visibility/Graphics* och visningsval.

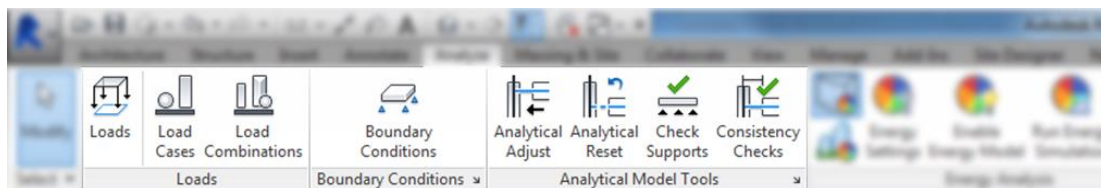
Flera saker blir viktiga att ha i åtanke om modellen ska användas för beräkningar. Det är ännu viktigare att modellens rumsliga utsträckning är korrekt. Där en felaktig placering av ett objekt i modellen kanske inte är synligt för blotta ögat, vare sig i 3D eller i sektion och därmed är irrelevant, kan det leda till att elementens oändligt tunna analytiska linjer och plan får en felaktig position. Till exempel kan det hända att en balk och en pelare som är tänkta att ansluta till varandra blir förskjutna i planet, och istället svävar fritt. Om detta sker kommer beräkningsprogrammet att hantera dem på ett felaktigt sätt. Detta går i viss mån att styra med toleranser i beräkningsprogrammen, men resultatet blir garanterat bra om analysmodellen är helt korrekt. Det är även viktigt att använda sig av familjer som har korrekt geometri, det vill säga korrekta tvärsnitt på pelare och balkar och korrekt tjocklek och uppbyggnad på väggar. Detta är säkerligen inte något nytt för verksamma konstruktörer när det gäller balkar och pelare, men för väggar och bjälklag är det viktigt att elements struktur avspeglar verkligheten, så till vida att den bärande delen av elementen är korrekt specificerad. Detta går att kontrollera i Revit under *Properties* → *Edit Type* → *Structure*.



Figur 13: Dialogrutor i Revit, materialval för element.

Materialegenskaperna blir mycket viktiga om modellen ska användas i beräkningar. Det är avgörande att de familjer som används i Revit innehåller materialegenskaper, och att dessa är korrekta. Om till exempel olika stålqualitéer används för samma tvärsnitt är det nödvändigt att skapa separata familjer för de olika elementen, så att modellens representation är korrekt. Detta går också att ställa in under *Structure*, se ovan. I de fall där elementen har inställningar för inspänningsförhållanden är det viktigt att dessa specificeras på ett korrekt sätt i modellen, så att strukturen fungerar som tänkt då den beräknas.

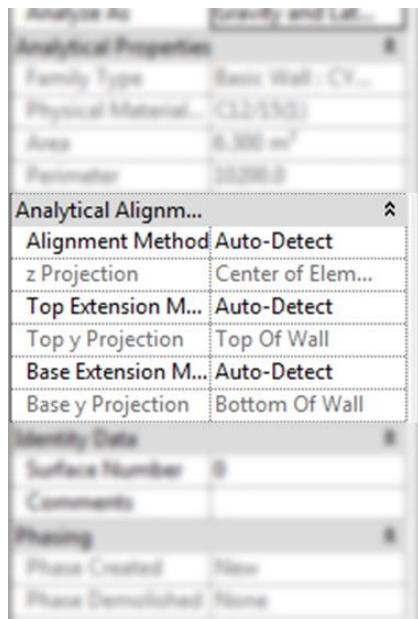
Många av faktorerna ovan är möjliga att korrigera i beräkningsprogrammen, men då många konstruktörer säkerligen har större vana med Revit än med dessa, och då Revit kanske också ofta upplevs som något mer användarvänligt är det fördelaktigt att direkt införliva ändringarna i modellen. Att se till att arbeta med en BIM som är så komplett som möjligt kan ha många praktiska fördelar, då informationen koncentreras till en gemensam databas. Att föra in stöd och till och med laster i Revit-modellen kan därför vara attraktivt.



Figur 14: Ikoner i Revit, verktyg och inställningar för analytiska element.

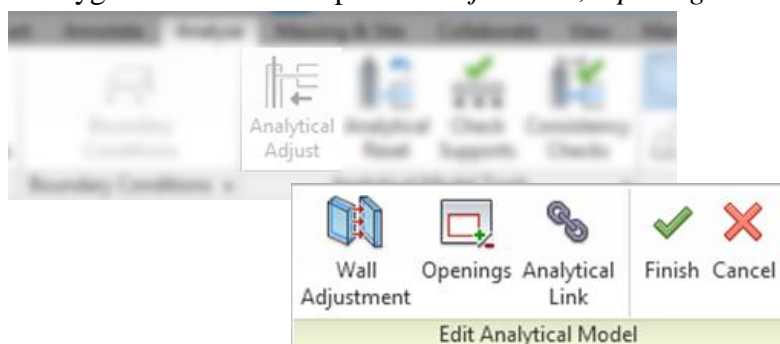
I Revit finns flera verktyg som används för att korrigera analysmodellen. De olika verktyg som har att göra med analysmodellen är samlade under fliken Analyze. Dessutom finns det inställningar under Properties för varje enskilt analytiskt element. Vissa inställningar i den strukturella modellen påverkar också den analytiska representationen. Det finns två inbyggda verktyg i Revit för att felsöka den analytiska modellen, nämligen *Consistency Checks*, som kontrollerar samstämmigheten mellan den analytiska modellen och produktionsmodellen, samt *Check Supports*, som kontrollerar att elementen i modellen är infästa och inte svävar fritt.

Om inget annat anges väljer Revit de analytiska elementens vertikala och horisontella utsträckning. Den följer inte alltid den strukturella modellens utsträckning, utan analysmodellen anpassas enligt vissa regler för att de olika elementen ska skapa en helhet. Det står dock användaren fritt att själv ändra dessa inställningar, vilka hittas under *Properties* → *Analytical alignment* för de analytiska elementen. *Alignment method* styr hur objektet ritas upp i planet, medan *Top/Base Extension* styr elementets vertikala utsträckning. Beroende på hur byggnadsverket ser ut och på vilka förenklingar som konstruktören anser vara lämpliga i modellen kan valet av inställningar se väldigt olika ut. De automatiska inställningarna behöver alltså utvärderas från fall till fall. För att återställa de automatiska inställningarna går det att välja *Auto-Detect* under *Properties* eller använda verktyget *Analytical Reset*.



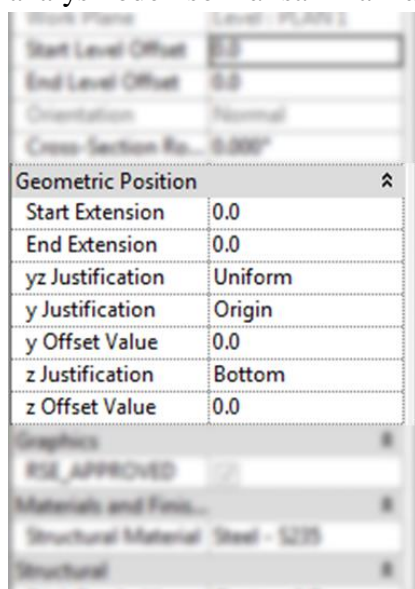
Figur 15: Inställningar för Analytical alignment i Revit.

Det är också möjligt att manuellt justera analysmodellen. För detta finns verktyget *Analytical Adjust*, som påminner om andra verktyg i Revit som *Edit Boundary* i det avseendet att ändringar endast utförs efter det att användaren klickar på *Finish*. I verktyget finns tre redskap: *Wall Adjustment*, *Openings* och *Analytical Link*.



Figur 16: Verktygen under *Analytical Adjust* i Revit.

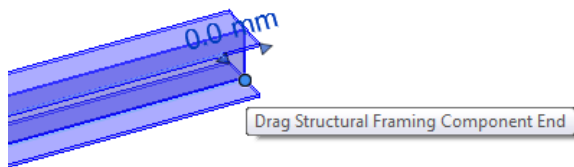
Wall Adjustment tillåter användaren att justera väggars utbredning i planet, genom att anpassa dem till andra väggar, samt balkar, pelare och golv. *Openings* låter användaren välja vilka håltagningar i väggar och bjälklag som ska inkluderas i analysmodellen, medan *Analytical Links* används för att skapa rigida länkar mellan olika element. Förstnämnda redskap är användbart för att förenkla modellen, medan det sistnämnda kan användas för att länka ihop element som är något excentriskt placerade med bibehållen utbredning i rummet. Slutligen är det möjligt att på ett handfast vis modifiera analyslinjer och noder i skalelement genom att dra i dem med musen, eller genom att använda verktyget *Align*. På detta vis kan användaren skapa en analysmodell som är sammanhängande och som är anpassad efter dennes önskemål.



Figur 17: Inställningar för *Geometric Position* i Revit.

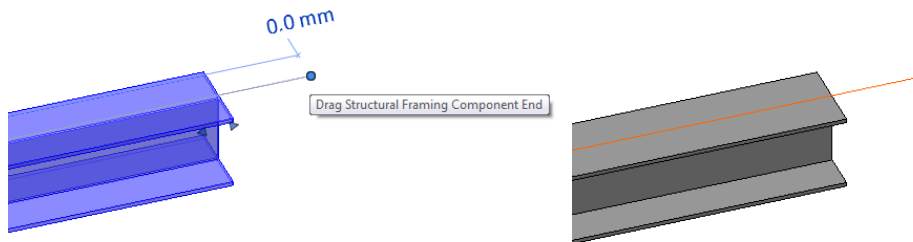
Vissa inställningar för de strukturella elementen påverkar analysmodellen. Inställningar under *Properties* -> *Geometric Position* styr hur balken visas i förhållande till den sträckning som den ursprungligen ritades ut med. Om dessa inställningar används för att ge balken en korrekt position i produktionsmodellen,

kommer analysmodellen skilja sig avsevärt från denna. Det är alltså bättre att rita ut element i en korrekt position från början, för att skapa koherens mellan de analytiska och strukturella modellerna. Genom att markera en strukturell balk eller pelare dyker en ljusblå prick, *Drag Structural Framing Component End*, upp.



Figur 18: *Drag Structural Framing Component* i Revit.

Denna styr balkens och analyslinjens utsträckning i rummet. Även den strukturella balkens geometri styrs av den, men det är möjligt att frikoppla den grafiska representationen av balken från analyslinjen genom att dra i de blå pilar som visas vid balkens ände, eller genom att ändra inställningarna för *Start/End Extension*. Även här är det viktigt att detta endast görs med insikten om att analysmodellen påverkas, och inte används som en genväg i modellerandet av den strukturella modellen.

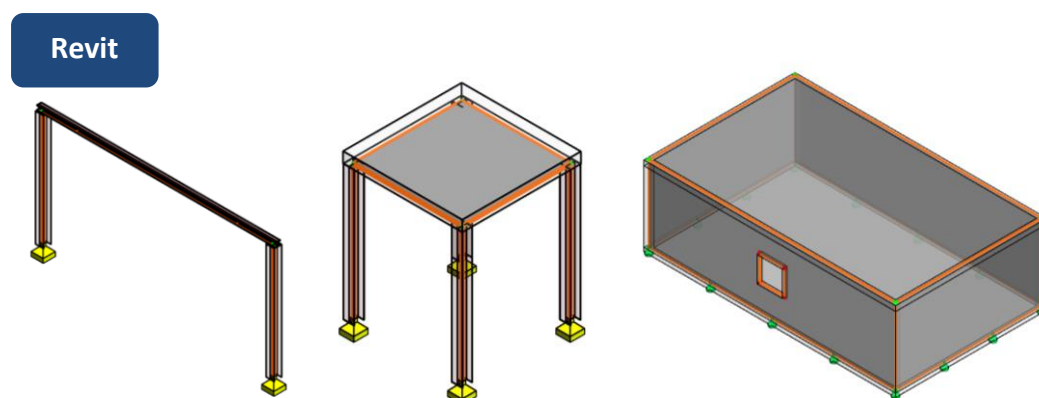


Figur 19: Resultat vid frikoppling av den grafiska representationen av balken från analysmodellen.

Den analytiska modellens information, vilket innefattar geometrisk information men även data angående de ingående elementens tvärsnitt och material, kan sedan exporteras på olika sätt från Revit. Beräkningsprogrammen mottar då de olika ytornas och linjernas positioner och inbördes förhållanden, samt elementens hållfasthet och övriga materialdata, och ritar utifrån detta upp en modell, vilken sedan kan beräknas med hjälp av statistiska beräkningar eller FEM.

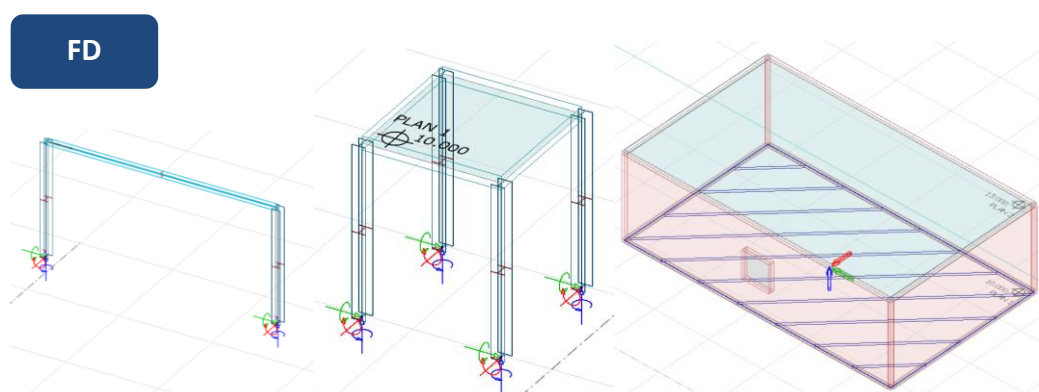
3.2 Koppling mellan Revit och FD

För att förstå hur element överförs och tolkas av de olika programvarorna har enkla modeller skapats och analyserats efter import och export. Syftet är att skapa förståelse för överföringen samt vilka begränsningar som uppstår vid överföring mellan programvarorna. För detta skapades tre olika modeller i Revit.



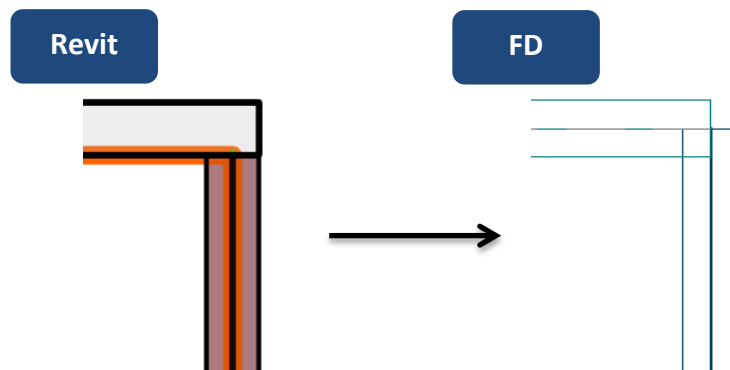
Figur 20: Modeller skapade i Revit för utvärdering av koppling.

För att illustrera både strukturmodell och analysmodell har strukturmodellen gjorts transparent. Pelarna har fast inspända stöd. Under plattan ligger ett areastöd.



Figur 21: Modeller efter överföring till FD.

Vid testerna fungerar kopplingen mellan programvarorna utan hinder men inte utan problem. Ett av problemen som uppstår är hur FD tolkar orienteringsinställningar av analysmodellen. Eftersom analysmodell saknar tjocklek placeras analyslinjer och plan med en viss orientering utifrån inställningar av strukturmodellen, Alignment Method i Revit. I modellerna från Revit är orientering för testobjekten inställd på Auto Detect. Figuren nedan visar hur pelare ansluts till bjälklag, i Revit och efter överföring till FD.



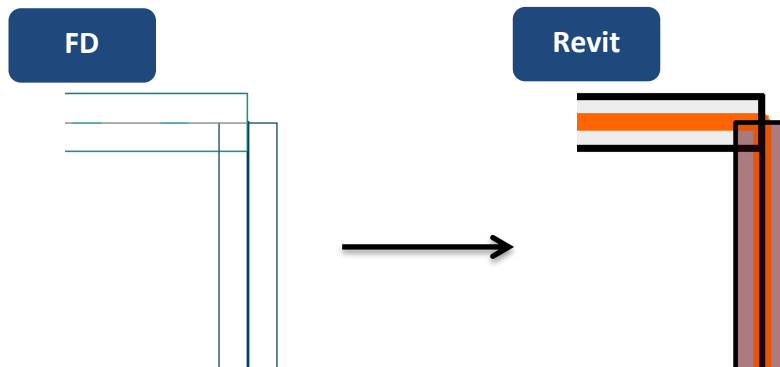
Figur 22: Problem med elementens orientering vid överföring från Revit till FD.

StruSoft beskriver själva problematiken i deras manual (StruSoft, 2014). Tabellen nedan visar en sammanställning av hur de olika inställningarna påverkar resultatet av överföringen.

	1	2	3	4	5
Revit Alignment Method:	Projection	Projection	Projection	Projection	Auto detect
	Top of Slab	Center of Slab	Bottom of Slab	Level 1	-
Corresponding FEM-Design alignment	Top/Left	Center	Bottom/Right	Center	Center

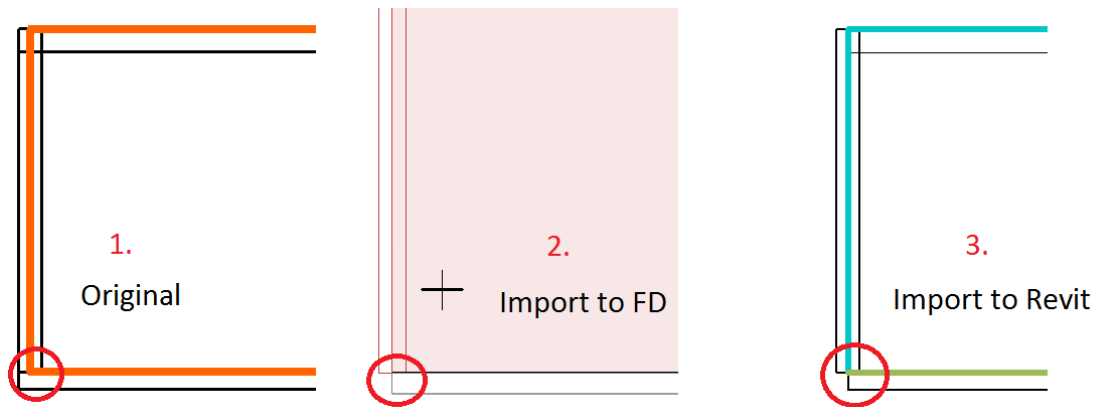
Figur 23: Orienteringsinställningar i Revit och dess motsvarighet i FD (StruSoft, 2014).

Det är viktigt att påpeka att detta inte påverkar analysmodellen. Inställningarna av orientering justerar endast hur strukturmodellen ritas med hänsyn till analyslinjerna. För överföring till FD från Revit behöver det därför inte vara nödvändigt att ta hänsyn till detta. Problemet uppstår först vid import av FD-modellen till Revit.



Figur 24: Orientering av strukturmodell efter överföring från FD till Revit.

I en tänkt dimensioneringsprocess är det möjligt att rita upp modellen i Revit och föra över till FD för dimensionering. I FD justeras sedan val av t.ex. pelare och balkar. Då modellen importeras till Revit kommer strukturmodellen inte längre vara korrekt då orienteringen ändras. StruSoft kontaktades angående problematiken. I rapporten från StruSoft (Bilaga 1) beskrivs problemet och hur det delvis kan hanteras. Genom att välja inställningar för Alignment method kan FD göra korrekta tolkningar för de flesta element. Dock kan orientering av element för grundplatta ej hanteras. Se figur nedan.



Figur 25: Orienteringsproblem (Bilaga 1).

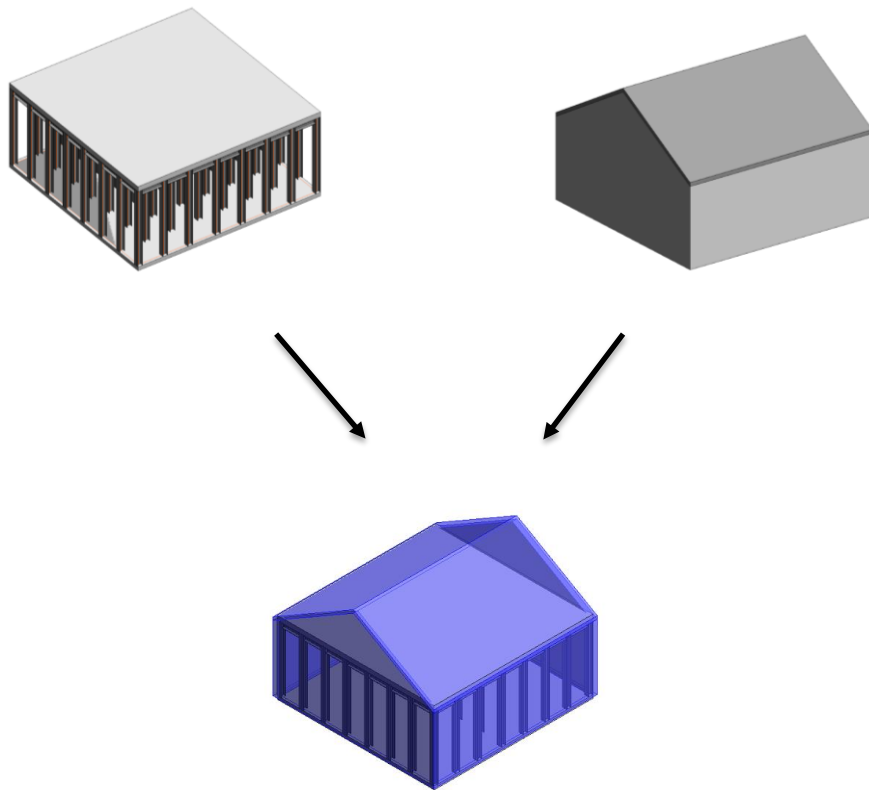
StruSoft skriver även att de arbetar med att få kopplingen att skapa korrekt orientering av element oberoende av inställningar i Revit.

För modell med bärande väggar placerades ett areastöd under plattan. FD och Revit skiljer sig på så sätt att FD hanterar grundplattor som bärande i sig medan Revit stöd definieras i Revit. För överföring från Revit till FD är detta i sig inte något problem då FD ignorerar det inlagda stödet. Dock uppstår problem vid överföring från FD till Robot. Vid överföringen skapas ett för Revit okänt element, *Surface support*. Efter kontakt med Iwona Budny kan det konstateras att det här är ett problem som inte ännu är löst för kopplingen vid överföring från FD till Revit³.

Generellt kan utvärdering av koppling för överföring mellan de olika programvarorna ge slutsatsen att envägsöverföring fungerar väl för analysmodellen. Vid överföring av modellerna uppstår vissa tolkningsproblem vilket gör att strukturmodellen ritas upp på ett felaktigt sätt. Detta gör att det kan vara svårt att skapa en fungerande arbetsprocess med kontinuerliga överföringar och uppdateringar av en gemensam modell.

³ Kontakt med StruSoft support via mail 2015-05-08

Ett möjligt arbetssätt vid större projekt är att separera olika delar av en konstruktion och arbeta i separata modeller som sedan länkas samman till en fil. Detta görs i Revit genom att använda funktionen *Link Revit*. Det är därför intressant att se vad som händer vid överföring av en modell som består av flera olika sammanlänkade mindre modeller.

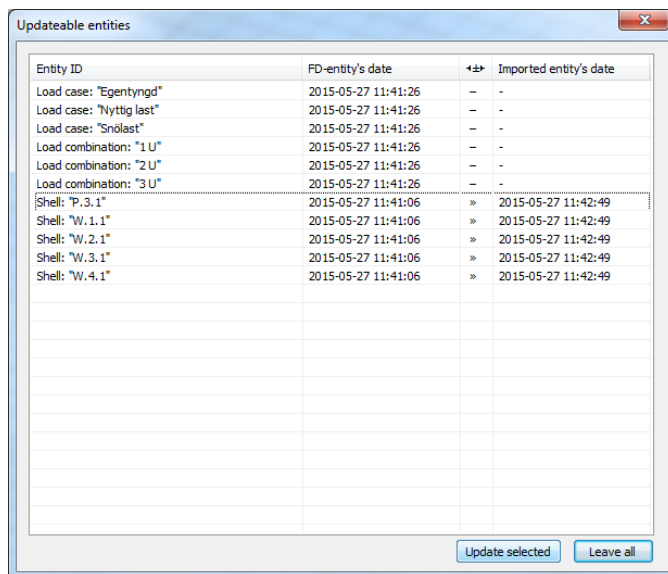


Figur 26: Två modeller sammanlänkade i en tredje fil.

I ett test skapades en modell för den bärande konstruktionen och en modell för klimatskalet. Dessa modeller länkades sedan samman i en tredje fil och en gemensam modell skapades. I den gemensamma modellen uppstår då dessa inlänkade modeller som två hela objekt. Det går alltså inte att redigera modellerna i den gemensamma modellen och inte heller justera de analytiska elementen. Vid överföring av den gemensamma filen från Revit till FD kan FD därför inte hitta några analytiska element. Vid kontakt med Iwona Budny förklaras problemet med att de inlänkade modellerna inte visar sina ursprungliga strukturella element i den gemensamma modellen, vilket är vad kopplingen använder som underlag. För att exportera en sammanlänkad modell krävs därför att dessa konverteras. Detta kan göras genom att kopiera in modellerna istället för att länka in modellerna. Men då försvinner också fördelarna som inlänkade modeller medför⁴.

⁴ Kontakt med StruSoft support via mail 2015-05-13

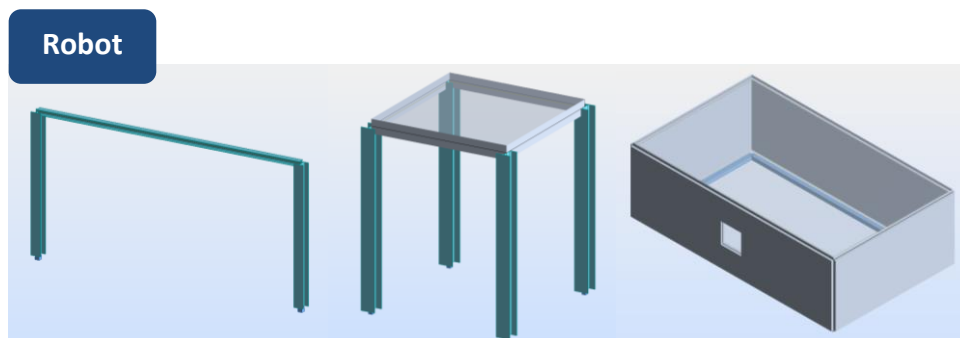
I FD finns också möjligheten att uppdatera en från Revit exporterad modell med efterkommande ändringar, genom att använda verktyget *Update Model*. Produktionsmodellen exporteras i StruXML-format och öppnas i FD. Efter att ändringar gjorts i Revit exporteras modellen igen och öppnas med Update Model i FD. Användaren får nu se vilka ändringar, i form av borttagna, tillagda eller ändrade element, som har skett och kan välja vilka som ska överföras till modellen i FD. Funktionaliteten fungerar väl och framstår som tillförlitlig. Verktyget är fördelaktigt att använda om vissa delar av modelleringsarbetet är tänkt att utföras i FD, då detta inte går förlorat när modellen uppdateras. Om all data istället samlas i Revitmodellen innebär metoden endast ett mer omständligt arbetsflöde i programmet, utan att bjuda på några fördelar.



Figur 27: Dialogruta i FD.

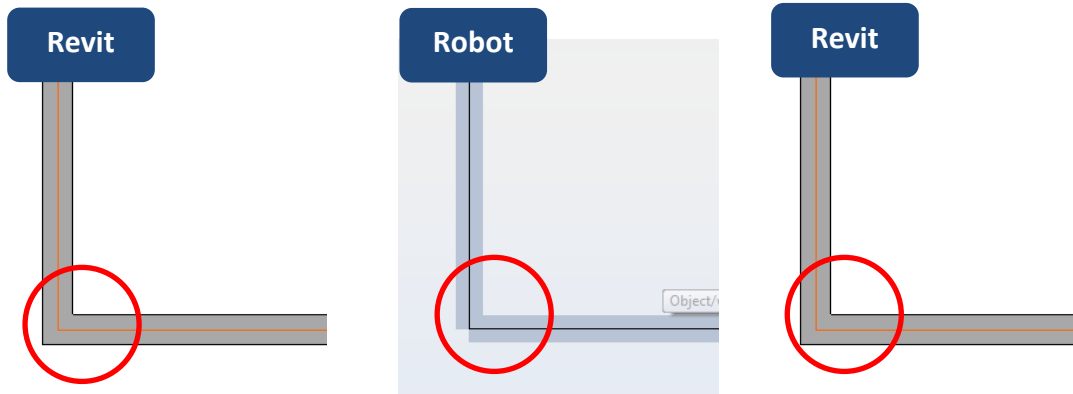
3.3 Koppling mellan Revit och Robot

Samma tre modeller användes för att utvärdera kopplingen mellan Revit och Robot. Figuren nedan visar modellerna efter överföring till Robot.



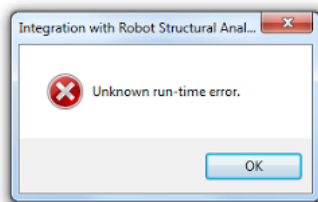
Figur 28: Modeller efter överföring från Revit till Robot.

Likt FD har Robot svårt att hantera elementens orientering mot varandra. Analysmodellen är dock fortfarande intakt. Kopplingen mellan Revit och Robot är direkt och hanterar varje element utifrån den ursprungliga modellen. Detta innebär att modellen i Revit kan uppdateras från Robot efter export. Vid uppdateringen ändras inte orienteringen av elementen i Revit och strukturmodellen är därför intakt.



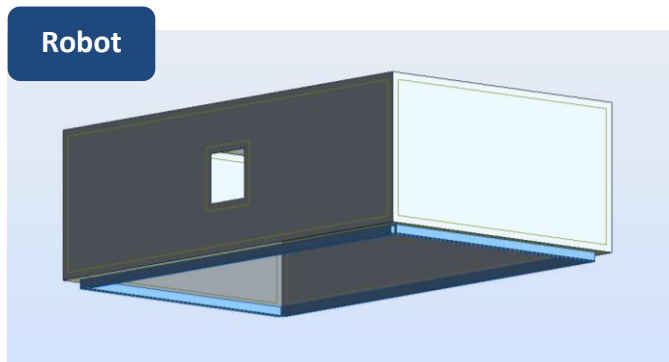
Figur 29: Resultat av överföring från Revit till Robot och återföring tillbaka till Revit.

En av de stora begränsningarna med kopplingen mellan Revit och Robot är håltagningar. Håltagningar skapade i Revit genom att ändra panelens profil överförs till Robot som *Openings* vilket beskrivs i manualen från Autodesk (Autodesk, 2014). Relationen mellan öppningarna i panelen i Revit och *Openings* i Robot behålls inte vid överföring. Det är därför inte möjligt att återföra en modell med håltagningar eller att skapa håltagningar i en modell i Robot för överföring till Revit. Vid försök visas följande felmeddelande.

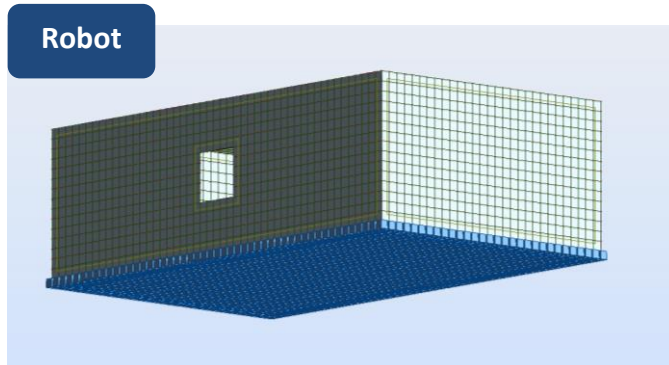


Figur 30: Felmeddelande vid överföring av håltagning från Robot till Revit.

En annan begränsning är vid beräkningar av modellen med platta, då Robot skapar så kallade *Isolated foundations* som stödelement.

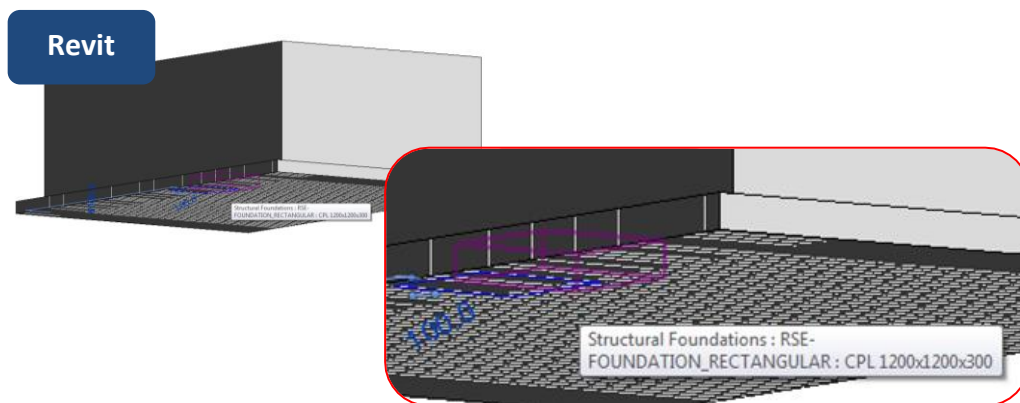


Figur 31: Modell före beräkning i Robot.



Figur 32: Modell efter beräkning i Robot.

Vid generering av meshen skapas dessa stödelement i varje nod av nätet. Antalet stödpunkter avgörs därför av noggrannheten i meshen. Högre noggrannhet ger fler stödpunkter. I Robot är detta inget problem men vid överföring till Revit skapas dessa nya element i plattan. Strukturmodellen ändras och överföringen tar mycket lång tid. Resultatet visas i figuren nedan.



Figur 33: Resultat vid överföring av beräknad modell till Revit.

Autodesk beskriver inte den här problematiken i sin manual. Vid kontakt med Autodesk:s support beskrivs problemet som under utredning och att det inte just nu finns någon lösning⁵.

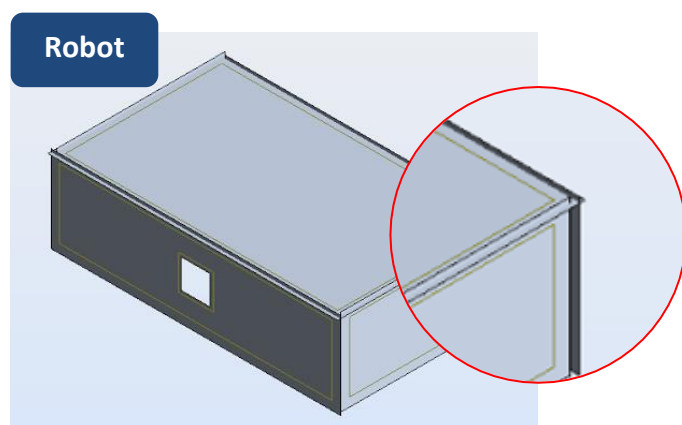
⁵ Kontakt med Autodesk support via forum 2015-03-04

Ett av de problem som uppstod vid överföring av de tre modellerna var att dubletter skapades av elementen då modellen skickades tillbaka till Revit. Detta skedde bara om en analys genomförts i Robot innan överföringen. Inga dubletter skapades om modellen bara skickades fram och tillbaka utan analys i Robot. Efter kontakt med Autodesk visade det sig att det nyligen kommit en uppdatering av kopplingen. Uppdateringen löste problemet och inga dubletter skapades vid ett nytt försök. Kontinuerliga uppdateringar sker och det är viktigt att påpeka att utveckling pågår för att hantera de olika bristerna som finns hos kopplingarna. Samtliga tester gjordes om med den senaste uppdateringen⁶.

Överföring av länkade modeller testades också för kopplingen mellan Robot och Revit. Inte heller här var det möjligt att överföra modellerna. Inga felmeddelanden uppstod men det skapas inga modeller i Robot.

3.4 Export och import av IFC

För att se hur programvarorna hanterar IFC exporterades en av de enkla strukturerna från Revit för att sedan importeras till Robot respektive FD. Resultatet visar på stora brister där element saknas och orienteringen av de element som överförs skiljer sig från den ursprungliga modellen.



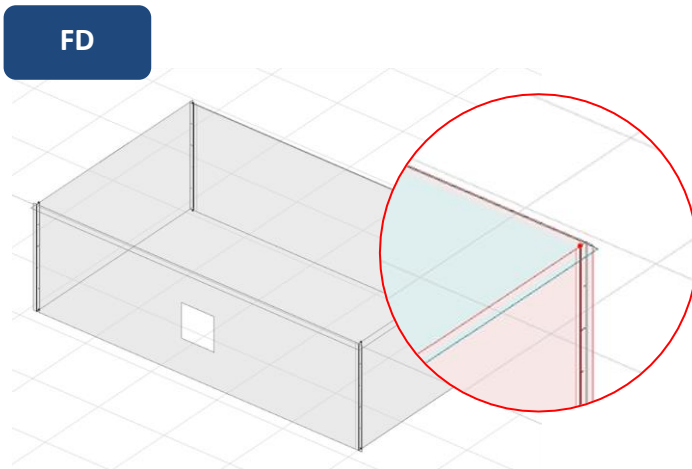
Figur 34: Modell i Robot vid export av IFC från Revit.

I Robot skickas alla element över utom bottenplattan. Det är även så att elementen skär i varandra istället för att ansluta längs med sidorna likt den ursprungliga modellen från Revit. Det skapas och ett stöd i origo som inte känns igen från Revit.

Vid import till FD upplevs samma resultat som Robot då elementen inte ansluter korrekt och bottenplattan saknas även här. Det skapas dock inte något stöd i origo. Resultaten visar att programvarorna inte är förberedda för att hantera IFC. Det ska dock påpekas att det är svårt att utvärdera var i felet ligger; vid import, export eller

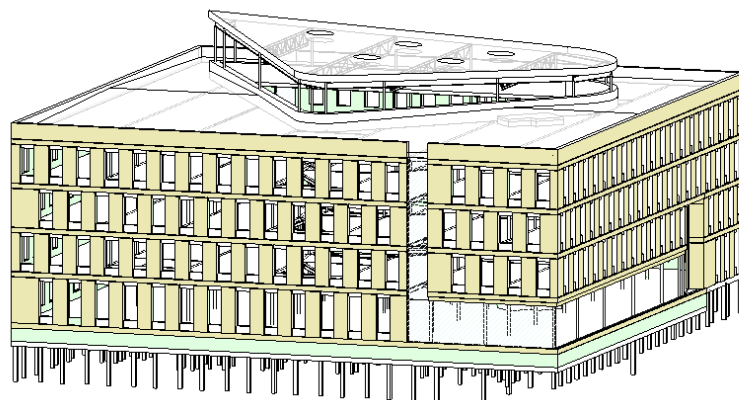
⁶ Kontakt med Autodesk support via forum 2015-02-24

vid både import och export. Det kan ändå konstateras att kopplingarna är mer tillförlitliga än ett användande av IFC.



Figur 35: Resultat i FD vid export av IFC från Revit.

3.5 Testprojekt – Alelyckan



Figur 36: Kontorsbyggnad i Alelyckan

Det första projektet som analyserades var en kontorsbyggnad som projekteras för Higabs räkning i Alelyckan i Göteborg, och som kommer att ha Göteborg Kretslopp och Vatten som hyresgäster. Byggnaden består av en stålstomme med pelare och balkar. På balkarna, som är av HSQ-typ, vilar ett HDF-bjälklag. Fasaden består av prefab-element i betong, med relativt omfattande glaspartier. Mitt i byggnaden finns en triangulär ljusgård, som i taknivå avslutas med ett på pelare vilande, något lutande triangulärt tak, som sticker upp ovanför det platta sedumtaket som återfinns på resten av byggnaden. Då byggnaden till stora delar utförs med prefabricerade element, har Rambölls roll främst varit att skapa ett lämpligt statiskt system utifrån arkitektens ritningar, samt att ta fram rimliga dimensioner på de HSQ-balkar varpå bjälklaget vilar, som ett underlag för prefab-konstruktören. Projektet Alelyckan befinner sig i förfrågningshandlingsskedet, och modellen är därför relativt komplett i sin utformning.

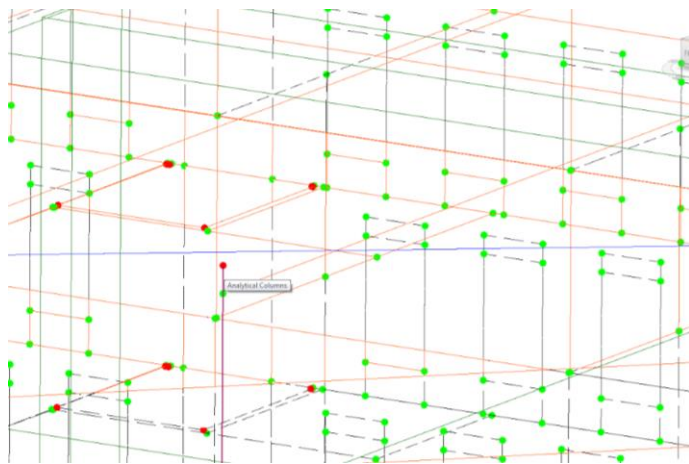
3.5.1 Förberedelse av analytisk modell

Den Revit-modell som användes som underlag var en kopia på den centralfil som konstruktörerna på Ramböll arbetade emot. Filen sparades som ett vanligt projekt då arbetet utfördes på en dator. Det fanns inte heller några tydliga fördelar med att arbeta med *Worksets* i projektet, då hela konstruktionen är ett nybygge av en sammanhängande byggnadskropp och därför är enkel att hantera som en helhet.

Arbetet med att förbereda analysmodellen kan delas in i två distinkta faser. I den första fasen fattades principiellt viktiga beslut om hur konstruktionen skulle modelleras. Beslut fattades om vilka objekt i strukturmodellen som var lämpliga att inkludera i analysmodellen och om hur stöd skulle placeras och definieras. I vissa fall var element modellerade på ett sätt som gjorde det omöjligt att använda dem för analys, eller som hade resulterat i en felaktig beräkning. Principiella beslut om hur dessa skulle modelleras om för att på ett så troget sätt som möjligt återge den ursprungliga modellens funktionssätt fattades också.

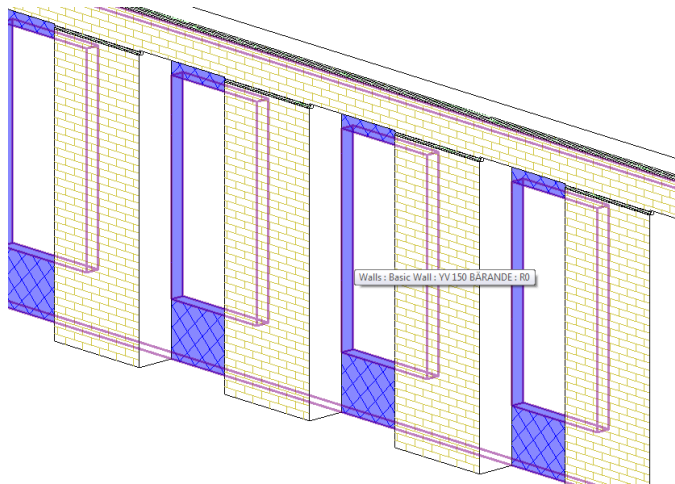
I den andra fasen var den grundläggande strukturen i modellen redan fastlagd, och arbetet innefattade istället att skapa en fungerande helhet av alla de olika elementen. Vid fasens inledning var alla element inställda på Auto-detect, vilket i vissa delar av modellen fungerade alldeles utmärkt, medan resultatet i många punkter var element som saknade koppling till varandra, eller som var kopplade på ett felaktigt sätt. Genom att använda redskapen i verktyget Analytical adjust och inställningarna under Analytical alignment för de olika elementen skapades en analytisk modell som väl representerade byggnadens tänkta strukturemekaniska verkningssätt.

Verktygen *Consistency Checks* och *Check Supports* användes för att snabbt lokalisera uppenbara felaktigheter i början av detta arbete, men efter hand bedömdes det vara mer lätthanterligt att åtgärda de fel som beräkningsprogrammen anmärkte på, då många av varningarna i Revit var överflödiga.



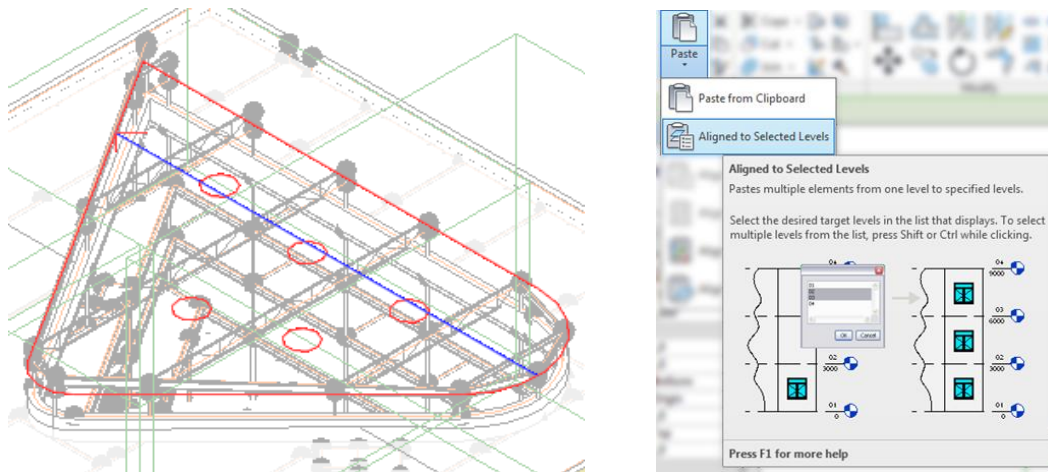
Figur 37: Analyslinjer i modellen.

Den första fasen inleddes med att bestämma vilka delar som borde inkluderas i analysmodellen. I vissa fall var det självklart att inkludera eller exkludera vissa element, till exempel rörande stålkonstruktionen eller glaspartierna, medan det i andra fall var mer av en bedömningsfråga. Väggarna bestod av sandwichelement, bestående av isolering mellan ett tjockare och ett tunnare lager av betong, på utsidan klädda med fasadtegel. I modellen var det tjockare lagret modellerat som ett väggelement, medan övriga lager samlades i ett annat. Det yttre lagret exkluderades från analysmodellen, men hänsyn togs till egentyngheten i beräkningarna genom att manuellt specificera denna. Det beslutades också att utesluta plintar, sockelelement och platta från modellen, och istället sätta punktstöd under pelarna och areastöd under bärande väggar. På bjälklagen fanns en fyra centimeter tjock pågjutning, som också uteslöts. Även den sarg som omger taket på byggnaden togs bort ur analysmodellen, då det från början stod klart att beräkningarna inte skulle komma att omfatta vindlast. På detta sätt gjordes en systematisk genomgång av modellen för att skapa en rimlig analytisk representation av byggnaden.



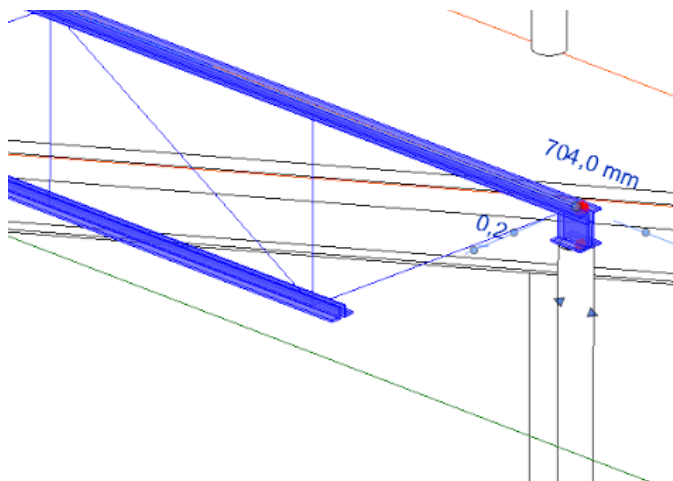
Figur 38: Sandwichelement bestående av två lager betong, isolering samt fasadbeklädnad.

Det triangulära taket var i modellen modellerat med modelltypen *Roof*. I Revit är *Roof* ett arkitektoniskt element och kan därför inte ha några strukturella egenskaper och inte heller bli en del av den analytiska modellen. För att kunna beräkna även spänningar i taket valdes det därför att skapa ett nytt *Structural Floor*, vilket är den korrekta elementtypen för alla typer av horisontella strukturella plan i Revit. Då syftet var att återskapa taket på ett så exakt sätt som möjligt, redigerades takets *Boundary* i Revit och de linjer som där angav dess form kopierades, varefter ett strukturellt golv skapades och linjerna klistrades in i skissen. Takets läge bevarades genom att linjerna klistrades in genom att använda verktyget *Paste* → *Align to Selected Levels*.



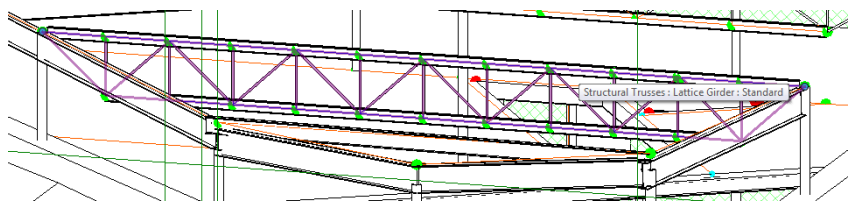
Figur 39: Justering av tak, från Roof till Structural Floor.

Det triangulära taket vilar på fackverksbalkar, vars läge hade styrts med en av inställningarna under *Properties* -> *Geometric Position*, kallad *z Justification*. Denna inställning bestämmer hur balkens representation i strukturmodellen ska ritas upp i höjddled, i förhållande till dess läge i analysmodellen. Resultatet blev att analysmodellen för fackverken försköts nedåt i z-led därmed inte anslöt till pelarnas topp. För att få rätt position på fackverken specificerades det värde som var angett under z-Justification istället under *Start/End Level Offset* under *Properties* → *Constraints*, medan z-Justification sattes till 0. Efter att detta gjorts sammanfaller analysmodellen och den strukturella modellen.



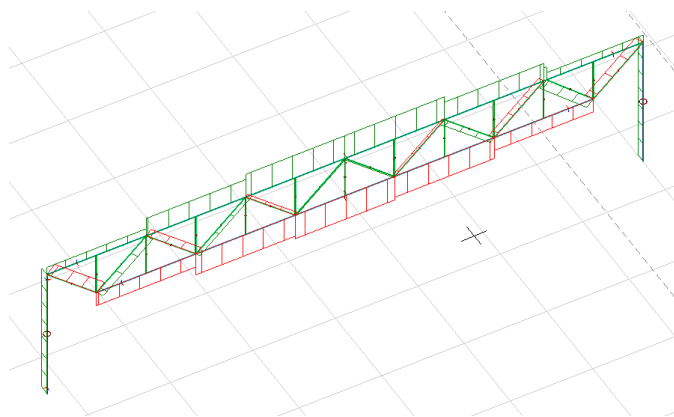
Figur 40: Fackverk ansluter till pelare korrekt efter justering av z-justification.

Fackverken representerades i strukturmodellen på ett korrekt sätt, men blev på grund av den valda familjens egenskaper analyserade som balkar i analysmodellen. För att kunna analysera dem som fackverk i beräkningsprogrammen skapades nya element av typen *Structural truss*.



Figur 41: Structural truss i Revit.

Elementet ger strukturen på fackverket, vars dimensioner och ingående balkar och rör sedan kan specificeras. På grund av tidsbrist och då detta egentligen låg utanför rapportens fokus, återskapades inte det fackverk som var synligt i modellen exakt. Istället användes en tillgänglig familj i Revit. Syftet var istället att undersöka huruvida denna elementtyp gick att exportera på ett korrekt sätt, vilket var fallet.



Figur 42: Överföring till och analys i FD.

I den andra fasen gjordes en systematisk genomgång av modellen uppifrån och ner och utifrån och in. I första hand låg fokus på icke anslutna noder, som kopplades ihop med närliggande element på ett korrekt sätt. Efter att detta var klart utvärderades även befintliga kopplingar, för att se modellen fungerade på ett korrekt sätt. För det mesta låg problemen i vertikala element, det vill säga väggars och pelares, utsträckning i höjddled. Det lämpligaste sättet att korrigera detta på är genom att under inställningar för *Analytical alignment* använda inställningen *Projection*. Denna inställning gör att pelarens analyslinjer projiceras i z-led till en viss nivå, som kan vara pelarens höjd, men även olika nivåer, i Revit kallade *Levels*. På detta sätt styrs den analytiska pelarens utsträckning på ett exakt och förutsägbart sätt. I vissa fall var det i konstruktionen tänkt att ett element skulle sträcka sig till en nivå som inte låg på en viss nivå, och det var då nödvändigt att manuellt justera höjden med *analytical adjust*. I några få punkter skilde sig även element som uppenbarligen var tänkta att vara sammankopplade i sin position i planet. Inställningarna för *Base/Top Alignment Method* föredrogs då framför att förändra objekten i strukturmodellen, då det rörde sig om små avvikelser som var närmast omöjliga att se i modellen.

Infästningsvillkor för pelare och balkar lämnades oförändrade då det inte fanns tid och möjlighet att utvärdera hur strukturen var tänkt att fungera i alla knutpunkter, och då det fanns en konsekvens i hur de var definierade. Det som var av vikt för undersökningen

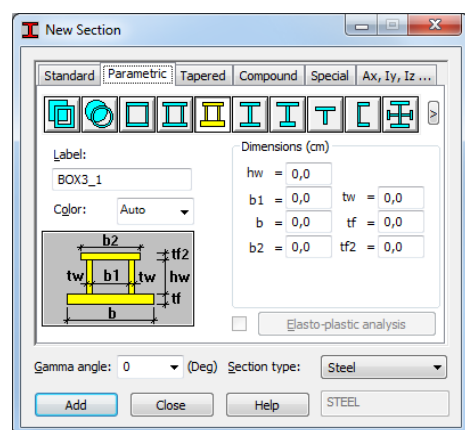
var att det gick att överföra en given modell på ett korrekt sätt till beräkningsprogrammen. Fokus lades därför på att kontrollera att definierade villkor överfördes på rätt sätt, snarare än på villkoren i sig. Efter att dessa grundläggande justeringar av modellen utförts gjordes sedan ett första försök att exportera modellen till beräkningsprogrammen.

3.5.2 Analys med Robot

På grund av de stora bristerna vid återimport och uppdatering av modellen från beräkningsprogrammen utnyttjades inte dessa möjligheter i arbetet. Istället exporterades modellen från Revit med respektive koppling och eventuella problem som upptäcktes åtgärdades sedan i Revit. Detta innebar ibland att arbetet blev tidsödande, speciellt när det gällde att lokalisera element i modellen, men var samtidigt ett robust arbetssätt där alla ändringar kunde samlas i Revit-modellen.

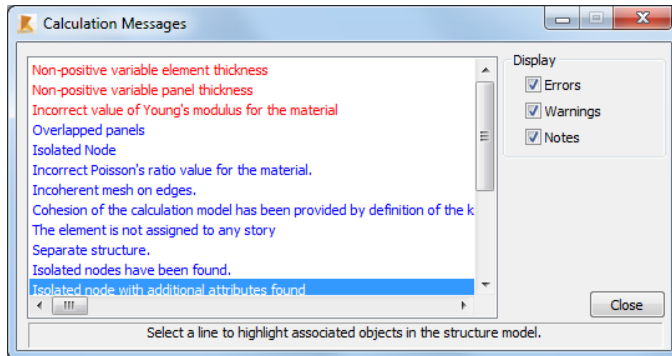
I ett första steg överfördes modellen till Robot. Detta gjordes med hjälp av insticksprogrammet Autodesk Structural Analysis Toolkit 2015, som har ett verktyg kallat Robot Structural Analysis Link. För att kunna utnyttja alla funktioner i kopplingen användes inte filformatet .smxx utan alternativet ”Direct integration” istället.

Robot har ett omfattande bibliotek med olika tvärsnitt, men de HSQ-balkar som i Alelyckan används för att bära upp HDF-bjälklaget ingick inte i detta. Tvärsnitten för dessa definierades därför manuellt i Robot genom att välja *Geometry* → *Properties* → *Sections* → *New Section Definition*, där de olika dimensionerna på balken angavs. Tvärsnittet sparades i biblioteket och Revitmodellen exporterades sedan igen, varpå HSQ-balkarna identifierades med de nyligen skapade tvärsnitten i Robot.



Figur 43: Dialogruta i Robot, nytt tvärsnitt.

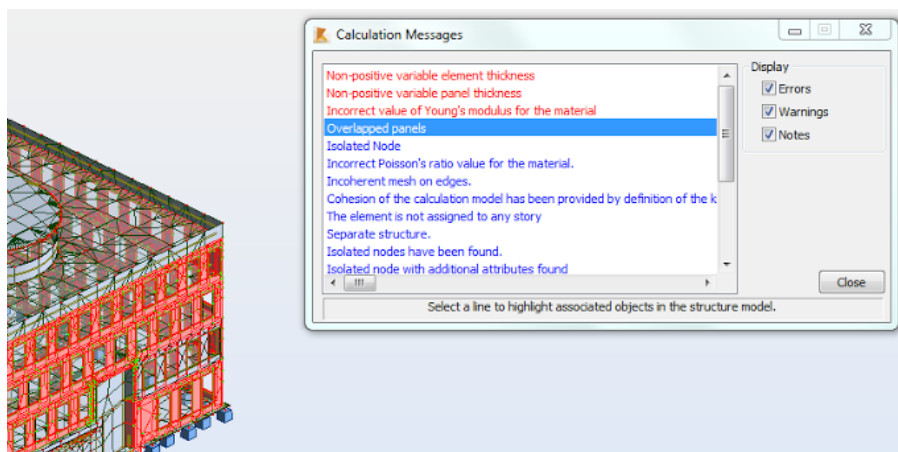
Modellens geometri, stöd och infästningsvillkor överensstämde med analysmodellen i Revit och en första beräkning utfördes för att utröna eventuella problem med modellen. Två fel rörde samma element, nämligen **Non-positive variable element thickness** och **Non-positive variable panel thickness**.



Figur 44: Felmeddelande i Robot.

Det visade sig att vissa av glaselementen, som inte fyllde någon funktion för beräkningarna, fortfarande var en del av analysmodellen i Revit vilket berodde på ett överseende i arbetet med att förbereda analysmodellen. Felet var enkelt att identifiera då det tydligt markerades i Robot vilka element som var problematiska. Problemet åtgärdades genom att *Enable analytical* kryssades ur för elementen i Revit.

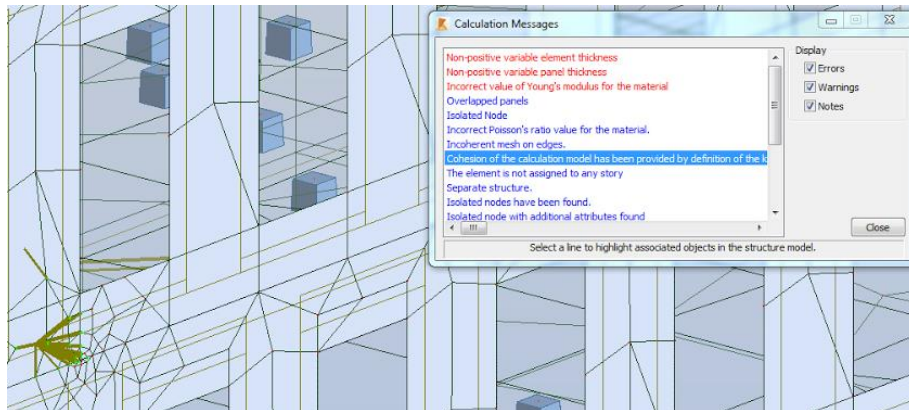
Nästföljande två fel hade även de gemensamma element som sin felkälla. Här var det den betongvägg som omger den triangulära öppningen i taknivå som markerades som problematisk. Felmeddelandena lydde **Incorrect value of Youngs modulus for the material** respektive **Incorrect Poissons ratio value for the material**. Det var alltså materialegenskaperna för objektet som var felaktiga. I Revitmodellen var väggarna modellerade med familjen *Basic wall*, som saknade egenskaper för hållfasthet. Detta åtgärdades genom att i Revit under *Properties* → *Edit Type* → *Structure* välja en lämplig betongkvalitet, komplett med tillhörande materialegenskaper.



Figur 45: Felmeddelande, *Overlapped panels*, rödmarkerade i modellen.

Felet **Overlapped panels** pekade på vissa väggar, där den yttre väggen, innehållande isolering, betong och fasadtegel, fortfarande tillhörde analysmodellen och intog samma position som de bärande betongväggar som behållits i analysmodellen. Även här var felet alltså ett överseende vid förberedelsen av modellen. Detta åtgärdades som ovan med att ta bort relevanta element från analysmodellen. Samma sak gällde

för delar av grundförstärkningen, för vilken Robot gav felmeddelandet **Isolated node**. Delar av grunden var helt fristående från resten av byggnaden, och gav därför också upphov till en varning om **Separate structure**.



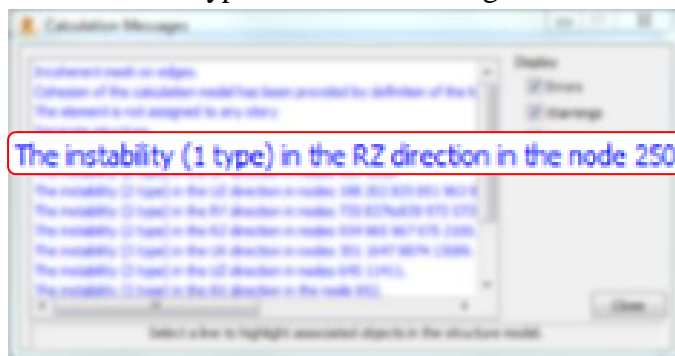
Figur 46: Felmeddelande, *Incoherent mesh on edges* och *Cohesion of the calculation model has been provided by definition of the kinematic constraints in incoherent points of the finite elements mesh*.

Robot gav vidare två varningar, *Incoherent mesh on edges* och *Cohesion of the calculation model has been provided by definition of the kinematic constraints in incoherent points of the finite elements mesh*. Även här har problemen samröre. Robot lyckas inte skapa ett sammanhängande beräkningsnät(mesh) för FEM-analysen i vissa punkter. Under *Tools* → *Job Preferences* → *Meshing* finns inställningar för hur Robot ska hantera sådana problem. Det går antingen att låta Robot automatiskt skapa en sammanhängande(coherent) mesh, eller att manuellt definiera *Kinematic constraints*, det vill säga specificera vilka rörelsefrihetsgrader element har i förhållande till varandra i olika punkter. Att manuellt specificera dem ställer givetvis högre krav på konstruktören, men ger samtidigt denne större kontroll över resultaten. Vid val av den automatiska metoden är det vidare möjligt att specificera om Robot ska iterativt justera meshen, och/eller automatiskt specificera *Kinematic constraints* i punkter där meshen inte är koherent. Robot informerar helt enkelt om att det finns partier där automatisk utjämning har behövts, och att automatiska *Kinematic constraints* har använts, då detta enligt grundinställningen i Robot är tillåtet för programmet. Om detta alternativ kryssas ur och Robot istället tillåts iterativt justera meshen beräknas denna om några gånger innan Robot hittar en tillfredsställande lösning och går vidare. Vilket alternativ som här är bäst är svårt att avgöra utan mer ingående kunskaper om FEM och en större vana vid programmet, men det kan konstateras att båda metoderna verkar fungera.

Robot markerade också att vissa element inte tillhör någon av de definierade nivåerna med meddelandet **The Element is not assigned to any story**. Det rör sig om det triangulära taket och vissa av pelarna i byggnaden. Alla element är definierade på en viss nivå i Revit, men vissa avviker i olika stor utsträckning från nivåer på grund av att offsets har definierats för dem. Detta påverkar inte beräkningarna, utan innebär endast att det inte går att använda de olika verktygen för att filtrera vad som ritas upp eller markeras i modellen utifrån nivåerna. Det går att bli av med felmeddelandet genom att under *Geometry* → *Stories* välja *Delete all*. Alla nivåer försvinner då från **CHALMERS**, *Bygg- och miljöteknik*, Examensarbete 2015:69

projektet i Robot. Det är även möjligt att under *Stories* välja *Advanced options* och där markera element som inte ska tillhöra någon nivå. Denna metod prövades, men programmets felmeddelanden bestod.

Slutligen klagade Robot över instabilitet i vissa noder med meddelandet **The instability (A type) in the BC direction in nodes...**, där **A** kan anta värdena 1,2,3, **B** U och R, och **C** X,Y,Z. **type** beskriver hur felet relaterar till styvhetsmatrisen, **direction** visar om det rör sig om förskjutning eller om rotation och längs respektive runt vilken axel detta sker. Exemplet i felmeddelandet nedan visar att nod 250 har en instabilitet för typ 1 och rotation kring z-axeln.



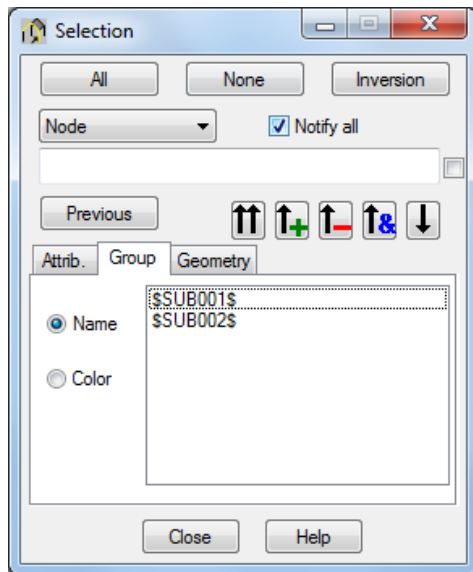
Figur 47: Exempel på felmeddelande vid instabil nod.

Instabiliteten orsakas oftast av att modellen strukturmekaniskt sett är en mekanism i dessa noder, det vill säga att antalet frihetsgrader är för många. Detta löses genom att se till att stöd och infästningsvillkor är korrekt definierade och att inga element saknar koppling till den övriga modellen. Instabiliteten indikerar alltså var analysmodellen behöver kontrolleras och förbättras.

Efter att ändringar gjorts i Revit-modellen exporterades denna igen till Robot och där den beräknades. Vissa av felen var nu åtgärdade, medan andra dröjde sig kvar. Trots att materialet på väggen runt det triangulära taket hade ändrats i Revit fick väggen i Robot samma material som tidigare, vilket helt saknade materialegenskaper. Antingen är detta ett resultat av att Revit endast såg till vilken familj objektet tillhörde och därmed ignorerade de inställningar för material som gjorts, eller så berodde detta på att det gamla materialet låg sparad i arbetsminnet. Detta skulle gå att lösa genom välja en annan familj i Revit, eller genom att skapa en kopia av den aktuella familjen och ändra materialvalet i denna. Då väggen inte bär upp konstruktionen uteslöts den från analysmodellen, i likhet med väggarna som utgör sargen på taket.

Ett nytt klagomål på **Separate structure** dök nu upp. Att tydliggöra vilken del av konstruktionen som åsyftades var först inte helt lätt, då modellen är någorlunda komplex och Robot inte markerade elementen på ett tydligt sätt. Genom att använda *Edit* → *Select* och gå in under fliken *Groups* var det möjligt att se och markera de två grupper som Robot delat in strukturen i, där den ena, *\$SUB001\$*, innehöll i princip hela modellen. Endast en liten del av hisschaktet i grundplan tillhörde den andra gruppen, *\$SUB002\$*. Den understa delen av schaktet var alltså inte länkad på ett

korrekt sätt till resten av modellen. Detta löstes i Revit genom att ändra inställningarna för *Top Extension Method* för elementen.



Figur 48: Dialogruta i Robot, Selection, användes för felsökning av *Separate structure*.

Meddelandet om **Overlapped panels** bestod. Förutom en liten del av pågjutningen på golvet inuti byggnaden som felaktigt fanns kvar i analysmodellen, visade det sig också att vissa väggar i hisschaktet hade dubletter i Revitmodellen. Det låg alltså väggar i väggar i modellen. Möjligtvis hade det faktum att *Worksharing* stängts av i modellen kommit att orsaka denna felaktighet. Problemet löstes genom att överflödiga väggar togs bort ur modellen.

En ny export gjordes efter det att erforderliga ändringar utförts i analysmodellen i Revit. Verktøget *Verification* under *Analysis* i robot användes för att snabbt kunna kontrollera strukturen. Ett helt nytt fel dök nu upp, där Robot anmärkte på **Bar length zero** och **Overlapping bars**. Eftersom balkarna hade längden 0 var det omöjligt att lokalisera dem modellen med blotta ögat, men det gick att markera dem genom att klicka på felmeddelandet och att sedan med markeringen intakt välja att ta bort dem i Robot. Då försvann båda meddelandena, så de aktuella balkarna delade alltså både längd och position.

Återstående fel var nu förutom varningarna angående meshen och nivåerna uteslutande olika former av instabiliteter i olika punkter. I samtliga fall var problemen olika felaktigheter i analysmodellen. Det rörde sig om element som saknade kopplingar till varandra, som var sneda eller som i vissa punkter borde ansluta till element som av någon anledning inte inkluderats i analysmodellen. Noderna i Robot överensstämde ibland med noderna i Revit. Detta var fallet när det rörde sig om en nod i ändpunkten på ett element, som toppen på en pelare eller startpunkten på en balk. Det var då relativt enkelt att identifiera källan till felet och åtgärda denna i den analytiska modellen. Vissa noder var istället noder i meshen och saknades i Revits

analytiska modell. Det blev då istället nödvändigt att noggrant undersöka omgivningen, för att utröna vilka kopplingar som inte var tillfredsställande. Detta var betydligt mer tidskrävande och elementen som till sist fanns orsaka problemet befann sig inte alltid i direkt anslutning till de instabila noderna, även om de befann sig i närområdet.

Även när det var självklart i vilken punkt som problemet fanns, var det inte alltid självklart var problemet låg. Vid en första anblick kunde analysmodellen se helt korrekt ut, med överallt anslutna noder, som bildade en struktur som borde vara väl fungerande. Ibland var det nödvändigt att zooma in väldigt mycket för att kunna se linjer som inte möttes, eller ett golv som inte riktigt nådde ända fram till en kantbalk. Det är svårt att säga exakt vilka distanser det kunde röra sig om, då arbetet av nödvändighet ofta skedde ur olika vinklar i 3D-vyn, men det bör ha rört sig om millimeter som mest. Ej heller var det nödvändigt att ens så mycket var fel i strukturmodellen, som ofta framstod som fullständigt korrekt. Det var istället problem som helt hänförde sig till den analytiska modellen.

Att lösa problemen när de väl hade identifierats var inte heller alltid helt enkelt. Ibland fanns inget lämpligt plan att projicera till och det kunde stundvis vara svårt att använda verktygen under Analytical adjust för att få ett tillfredsställande resultat. Analyslinjerna ville i vissa punkter inte ansluta till varandra, trots att Align användes. Ibland var då problemet att den strukturella modellens omfattning hade modifierats till att skilja sig avsevärt från den grafiska representationen av den samma. Efter korrigering av detta betedde sig då elementens analytiska linjer sig på ett mer regelbundet sätt.

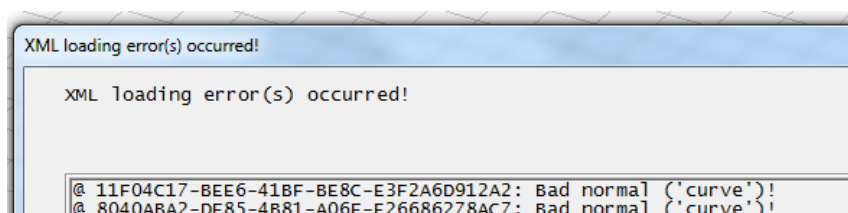
Problemen med instabiliteterna dök inte upp alla på en gång, vilket i sig är logiskt möjligt. Om en instabilitet finns i del A av strukturen kan detta göra att del B inte belastas. Först när instabiliteten i A åtgärdas blir B en del av den bärande strukturen och eventuella instabiliteter blir då synliga. På grund av detta exporterades modellen ett antal gånger från Revit innan strukturen var tillfredsställande, vilket också gjorde processen mer tidsödande. Genom att använda sig av *View* → *Display* och kryssa i *Node numbers* och *Display attributes only for selected objects* underlättades processen med att identifiera noder i Robot. Utan detta verktyg hade det inte varit möjligt att lokalisera många av felen. Till slut hade modellen förfinats till en sådan nivå att det var möjligt att lita till den för beräkningar och sedan utvärdera resultaten.

3.5.3 Analys med FEM Design

Vid importen till FD användes modellen såsom den var beskaffad efter att de justeringar som blivit nödvändiga under arbetet i Robot gjorts. Detta tillvägagångssätt kändes motiverat då de förändringar som gjorts var nödvändiga för att göra modellen beräkningsbar, och hade behövt upprepas vid export till FD. Nackdelen med detta är att en sämre kännedom om hur FD hanterar sådana fel erhålls. Det går inte heller att

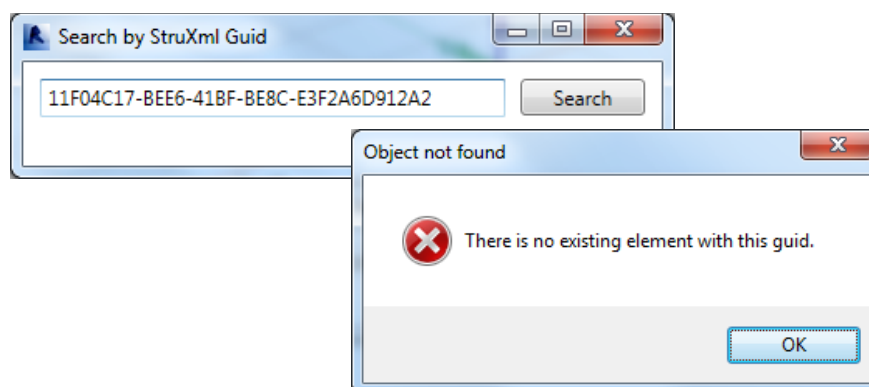
utvärdera om programmet missar några av de problem som Robot upptäckte. Fördelen med angreppssättet är att det sparar mycket tid, som istället kan användas för att lösa de problem som uppstår vid import till FD och i projekt nummer två.

Då FD till skillnad från Robot saknar en färdig mappning mellan vanliga element var det nödvändigt att i insticksprogrammet manuellt definiera vilka tvärsnitt i Revit som skulle korrespondera till vilka tvärsnitt i FD. Samma sak gäller också alla material. Som grundinställning är *Only current items* ikryssad, vilket gör att endast de element som finns i det aktuella projektet är synliga. Rätt material och tvärsnitt väljs och modellen sparas som en .struxml-fil. Mappningen av tvärsnitt och material sparas till en XML-fil för framtida bruk och ligger också sparade i Revit-projektet.



Figur 49: Felmeddelande i FD, XML loading error(s) occurred!

Vid importen uppstår genast problem. FD identifierar två element som har **Bad normal ('curve')!** Genom att öppna .struxml-filen var det möjligt att lokalisera de två elementen. Ett försök gjordes att lokalisera elementen genom att använda verktyget Search by Guid i Revit, men verktyget lyckades inte hitta några sådana objekt. Andra element i samma StruXML-fil gick dock att hitta.

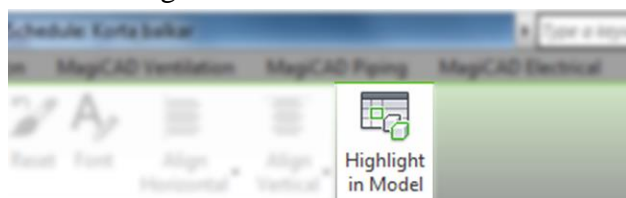


Figur 50: Felmeddelande vid försök att söka efter Guid i Revit.

För att lösa problemet fick istället en mer manuell teknik utnyttjas. Av beskrivningen av elementen i XML-filen framgår deras utbredning i rummet, vilken visar på att start- och slutkoordinater sammanfaller. Det är alltså de två balkar med längd noll som tidigare manuellt tagits bort ur Robotmodellen. Genom att använda *View → Display* i Robot, och kryssa i *Bar numbers* var det möjligt att lokalisera elementens placering i modellen och därefter navigera sig fram till denna punkt i Revit. Ingenting var synligt för blotta ögat, även vid avsevärd förstoring, men genom att markera

vänster-höger identifierades två strukturella balkelement med tillhörande analyslinjer, som enligt *Properties* har längden 0. Då dessa tas bort ur Revit och modellen återigen exporteras, är det möjligt att importera den till FD.

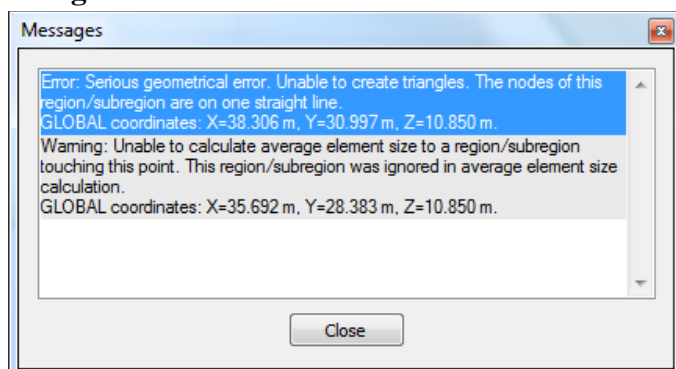
Antingen är balkarna ett resultat av att någon under modelleringen av misstag modellerat ett element, som fått en så liten längd att det direkt blivit osynligt, eller så är de ett resultat av en bugg i någon process i Revit, kanske i hanteringen av Worksets, som stängdes av början av denna utvärdering. Hanteringen av element i Revit är något omständlig, men det är möjligt att sortera element utifrån längd och sedan markera utvalda objekt i modellen. Detta görs genom att skapa ett *Schedule*, välja elementtyp(här *Structural Framing*), lägga till *Length* som ett fält under *Fields* och sedan under *Sorting/Grouping* välja att sortera på just *Length*. Om då några element med mycket liten längd hittas, eller några som istället är mycket långa, är det möjligt att markera detta i modellen genom att välja *Highlight in Model* efter att ha markerat någon av raderna.



Figur 51: Verkytet *Highlight in Model* i Revit.

Revit öppnar då en lämplig vy om ingen finns i det aktuella projektet och elementet markeras. Det är dessutom något omständligt att utröna vilket ID ett visst element har. Detta kunde till exempel synliggöras under *Properties*, istället för att rymmas i ett speciellt kommando, *IDs of Selection*.

Efter att modellen hade importerats till FD gjordes ett första försök till beräkning, vilken dock direkt misslyckades med felet **Error: Serious geometrical error. Unable to create triangles. The nodes of this region/subregion are all on a straight line.**

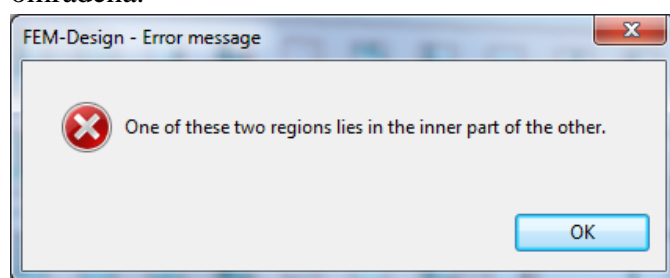


Figur 52: Dialogruta i FD, *Error: Serious geometrical error*.

Programmet ger användaren möjlighet att undersöka felet, så då markeras med en pil i modellen. Det kan ibland vara svårt att se exakt på vad denna pekar, men i detta fall var det tydligt att FD pekade på mötet mellan bjälklag och en vägg, där väggen inte

riktigt mötte golvet. Efter att ha ställt in väggens Top Extension Method till Projection mötte golv och vägg varandra perfekt, med bara en nod i hörnet där vägg möter golv och efter förnyad export uppstod inte längre detta fel i FD.

Ett nytt fel dök nu istället upp, vilket nu löd **One of these regions lies in the inner part of the other**. Detta meddelande dök inte upp i den vanliga dialogrutan för felmeddelanden, utan i en standard ruta utan några möjligheter att identifiera områdena.

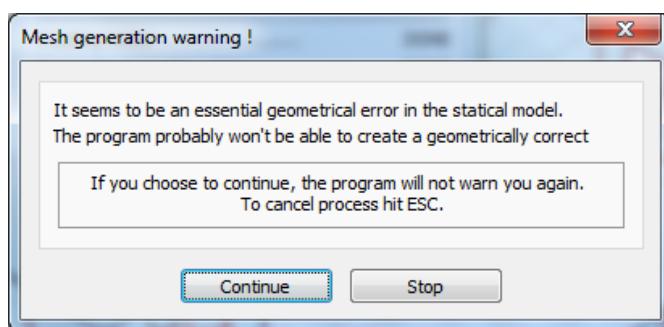


Figur 53: Felmeddelande i FD, *One of these regions lies in the inner part of the other*.

Detta gjorde felsökningen svår, då problemet potentiellt kunde finnas var som helst i modellen. Lösningen som valdes var att undersöka felet genom att i FD ta bort ett element i taget och utvärdera resultatet. Lyckosamt nog var en av de första element som togs bort golvet på plan 3, där det tidigare uppstått problem med instabiliteter i vid exporten till Robot. Felmeddelandet försvann då, och efter beräkning blev två små golv synliga, placerade i hisschaktet. Efter att ha undersökt Revit-modellen blev det tydligt att det inte fanns några dubbla golv i modellen. Det prövades då att ta bort de *Shaft openings* som användes för att göra håltagningar i modellen, vilket löste problemet i FD. Ett försök gjordes då att återskapa håltagningen genom att använda Edit Boundary på golvet och genom att använda den *Void*-familj som använts på andra ställen i projektet, men utan resultat. Konturerna av en rektangel blev synliga i bjälklaget, men inga öppningar skapades likt de som återfinns på andra ställen i modellen. Då problemet endast gällde en av håltagningarna i modellen valdes det att ignorera problemet och fortsätta med övriga delar av modellen.

Ett nytt försök gjordes nu att beräkna modellen. FEM gav inga felmeddelanden och till en början gick skapandet av en mesh relativt fort, men efter ett tag hängde sig programmet vid skapandet av en viss nod. Efter att ha startat beräkningen igen några gånger bara för att stänga av den när FEM nådde de kritiska elementen, var det möjligt att utröra vilka de problematiska områdena var. Det visade sig att dessa återfanns på nivå två och var ganska många till antalet. Då både Grids och Levels exporterats från Revit var det möjligt att i FD använda *View* → *Select view* för att styra vyn till vissa plan eller snitt genom byggnaden utifrån de definierade nivåerna och rutnätet. Då detta avsevärt förenklade arbetet felsöktes byggnaden plan för plan och då problemen i denna fas hänförde sig till meshningen skapades en mesh genom att markera valda element med verktyget *Mesh* under *Finite elements*.

På detta sätt gicks byggnaden igenom. Det vanligaste felmeddelandet var **Unexecutable local refine**, vilket innebär att meshen blir alltför fin i ett område för att kunna skapas på ett rimligt vis. Detta berodde ofta på att element som såg ut att sitta ihop egentligen antingen korsade eller inte mötte varandra. Avvikelserna verkade ofta röra sig om millimeter och ställde inte till samma problem i Robot, antagligen då programmet var bättre på att automatiskt sammankoppla mycket närliggande element. Det var inte möjligt att uppnå samma resultat i FD genom förändrade inställningar, vilket gör att programmet får betecknas som känsligare för avvikelser. För golvet var problemet ofta att det kragade ut ytterst lite, vilket nödvändiggjorde en mycket fin mesh. Detta var svårt att styra, dels beroende på att golvet var modellerat som ett enda stort sammanhängande bjälklag, dels på att håltagningar utförts med Voids eller Shaft Openings, vilka var mer komplicerade att modifiera än golvet Boundary. Precis som åtgärderna som utfördes för att undvika instabiliteter i Robot användes här Analytical adjust och inställningar för Analytical alignment. Även här var området kring ljusgården mest problematiskt. Flera av pelarna mötte inte balkarna på ett korrekt sätt och problem uppstod också i mötet mellan golvet och kantbalken, där FD upprepade gånger gav felmeddelandet **The nodes of this region/subregion are all on a straight line**.

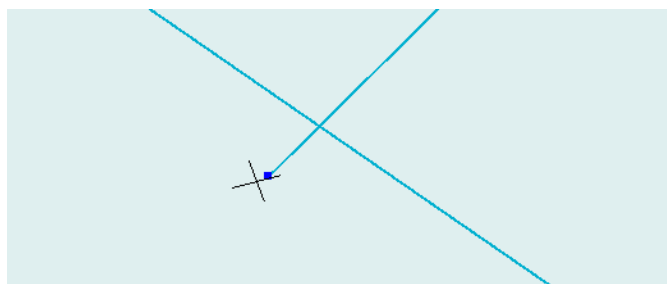


Figur 54: Felmeddelande i FD, Essential geometrical error in the statical model.

Meshningen på nivå 3 tog väldigt lång tid och till slut visas en varning om **essential geometrical error**. Efter att på måfå ha prövat att utesluta vissa element exporterades filen om utan Grids. Modellen går då att mesha, men FD klagas på **Unexecutable local refine** vid öppningen vid ett av glaspartierna. Efter att ha undersökt detta parti noga visar det sig att två balkar inte riktigt möts. Balkens analyslinje vill inte anpassa sig till omkringliggande element med vare sig Analytical adjust eller genom att inställningarna för Top Extension Method ändras. Övriga närliggande balkar hade en inställning för *End Join Cutback* i strukturmodellen satt till -150. Efter att ha ändrat den problematiska balken till att ha samma värde anpassar sig den som den ska. När detta åtgärdats försvinner felmeddelandena, trots att Grids tas med i StruXML-filen. På vissa andra ställen på nivå 3 anslöt balkar till golvet, vilket gjorde det svårt att skapa en bra mesh i de punkterna. Detta löstes också enligt ovan.

I nivå 4 uppstod också problem med att FD hänger sig vid skapandet av meshen. Efter att helt ha tagit bort öppning för ljusgården i mitten av bjälklaget är det möjligt att

genomföra en meshning. FD klagar då på några av pelarna i modellen, som anpassas bättre till närliggande balkar. Efter att detta är löst återställs öppningen, men problemet kvarstår.

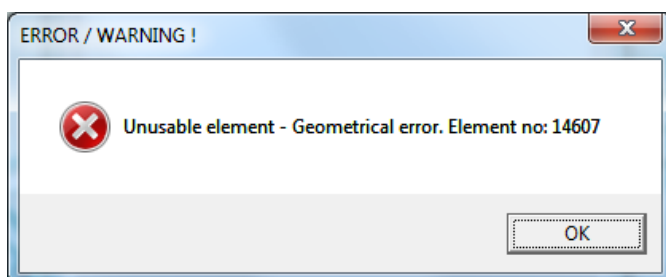


Figur 55: Felsökning i FD, balk ansluter inte till korsande balk.

Vid noggrann inspektion av öppningen visar det sig att en balk sticker ut marginellt och därmed korsar den balk som den är tänkt att ansluta till. Efter att ha åtgärdat detta försvinner problemet och hela våningsplanet kan beräknas.

I nivå 5 går det bra att skapa en mesh, men det tar lång tid för FD att avsluta kommandot. Väldigt många fel av typen **Unexecutable local refine** pekars ut längs en balk som löper i nord-sydlig riktning på taket. Vid noggrann inspektion visar det sig att pelarna som är tänkta att ansluta till balken inte möter denna, utan istället är anslutna till det Structural Floor som bildar taket på byggnaden. Efter att manuellt ha justerat detta med Align försvinner problemen och en fin, jämn mesh produceras. Efter att detta är klart meshas hela byggnaden i ett svep, efter det att import skett på nytt. Några nya varningar av samma typ som ovan uppstår och åtgärdas.

Under arbetets gång upptäcktes det att fackverken under det triangulära taket inte överförts som de ska. Det visar sig att de i Revit haft en felaktig materialtyp som gjort att de ignoreras av FD. Då materialet ställs in som stål överförs fackverken som de ska, men vid beräkning uppstår ett nytt fel i FD: **Unusable element – Geometrical error**.



Figur 56: Felmeddelande i FD, Unusable element.

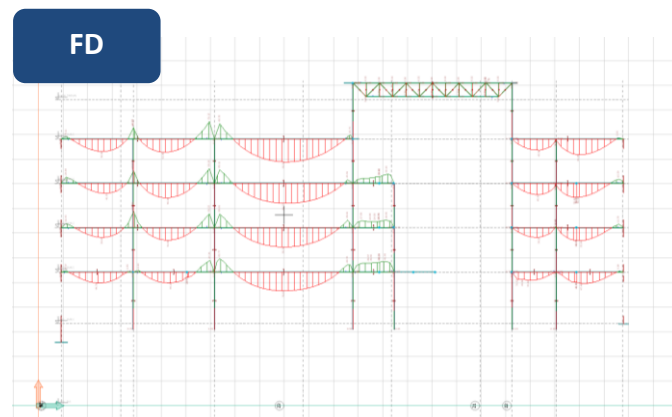
Inga element pekars ut i modellen, så det antas att problemet är de nyligen ändrade fackverksbalkarna. Efter noggrann inspektion visar det sig att det på ett ställe finns dubbla noder, vilket betyder att balken och pelaren inte riktigt möts. Problemet kvarstår trots detta. Familjen i Revit undersöks, men det inses att detta för FDs del är ointressant, då detta helt styrs av mappningen vid export. Till sist inses det att FD har

en funktion för att leta reda på element under *Tools* → *Find*. Elementet visar sig då vara ett finit element, närmare bestämt ett balkelement vid öppningen för glaspartiet i nivå 3, där två balkar inte riktigt möts. Efter att detta lösts med *Align* går modellen att beräkna utan problem.

3.5.4 Utvärdering av beräkningar

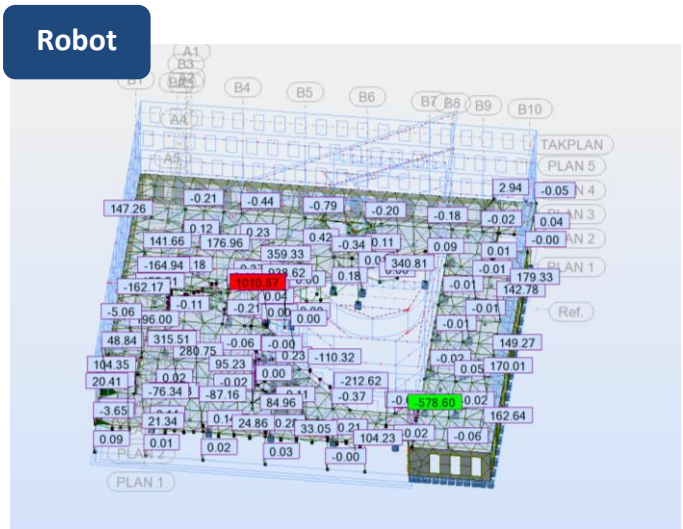
Det dimensioneringsarbete som Ramböll utförde för Alelyckan bestod av att skapa en bärande struktur av stål för byggnaden och i att dimensionera däri ingående pelare och balkar. Då syftet med denna utvärdering var att bilda sig en uppfattning om de exporterade modellernas överensstämmelse med Rambölls dimensionering på ett översiktligt plan lades fokus på HSQ-balkarna i projektet. Ansvarig konstruktör på Ramböll hade gjort antagandet att balkarna med längst spännvidd, vilka återfinns i det sydvästra hörnet av den triangulära håltagningen i bjälklaget, skulle komma att bli den mest belastade. Då syftet med Rambölls arbete var att skapa ett underlag för prefabkonstruktören var inte några skalelement en del av analysen. Lasteffekten på balkarna uppgick till drygt 1000 kNm enligt konstruktörens beräkningar.

I FD var det också mycket riktigt balkarna med längst spännvidd som kom att belastas mest, vilket givet att det finns ett avsevärt mått av symmetri i konstruktionen och att lasterna är identiska, utbredda laster på alla våningsplan framstår som rimligt. Egentyngden från taket är något större än bjälklagets egentyngd, vilket kan förklara att momentet här är något större. Det är också uppenbart att momenten är av en helt annan storleksordning än de som konstruktören presenterade, med ett maximalt moment på 93,51 kNm.



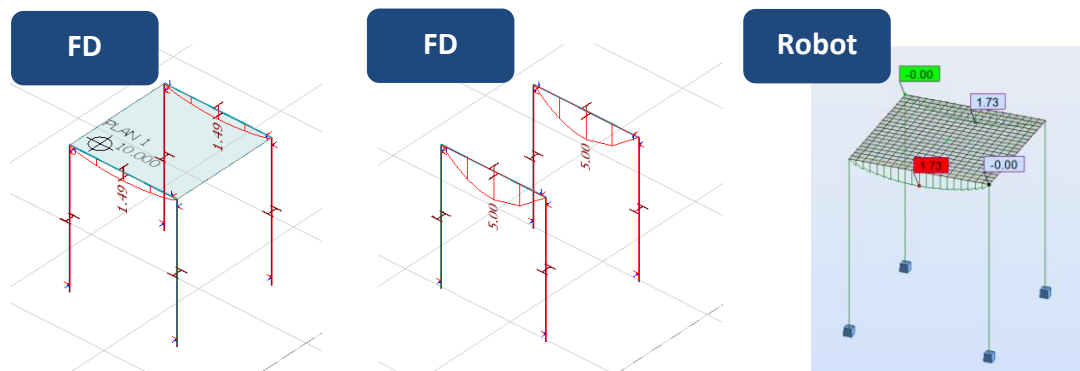
Figur 57: Moment i belastade balkar efter analys i FD

Resultaten i Robot skiljer sig markant från de som erhålles från FD, med ett maximalt positivt moment på 1010,57 kNm, men ligger mycket nära de värden som framtagits av konstruktören. Det är dock även här HSQ-balken med den längsta spännvidden som utsätts för det största momentet.



Figur 58: Moment presenterade i Robot efter analys.

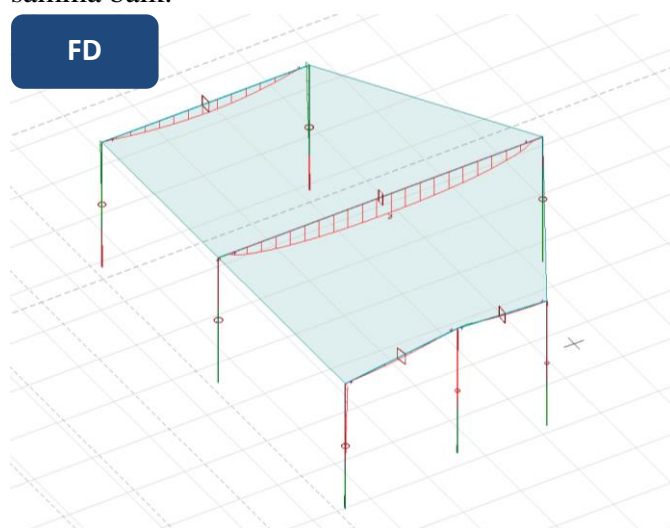
Den stora skillnaden i resultaten från de olika programmen och i jämförelsen med konstruktörens beräkningar är så omfattande att det inte kan röra sig om felaktigheter i strukturen. Det är istället den avstyvande verkan som ett bjälklag har på en struktur som påverkar resultaten. Om ingen hänsyn tas till denna effekt fördelas en ytlast i underliggande pelare och balkar. Balkarna utsätts för en linjelast av storleken $q \cdot c$, där q är ytlasten i kN/m^2 och c är centrumavståndet mellan parallella balkar, om symmetri råder och lasten verkar på ett rektangulärt område. Om bjälklagets inverkan istället tas med i beräkningarna, minskar momenten i balkarna avsevärt, då bjälklaget till viss del avlastar balkarna. Detta illustreras för en enkel struktur nedan. På den ena strukturen vilar ett bjälklag på vilket en ytlast verkar. Den andra strukturen har istället en ytlast verkande på ett element av typen *Cover*, vilket i FD är en yta som tar upp och för vidare laster utan att själv bära upp dem. Balkarna är fritt upplagda på pelarna, vilket gör att momentet i balken utan bjälklag kan beräknas med sambandet $q \cdot l^2 / 8$. Momentet i balkarna som istället avstyvas av bjälklaget är endast 30 % jämfört med det som uppstår i den andra strukturen. Resultaten är snarlika i Robot, om än inte helt identiska.



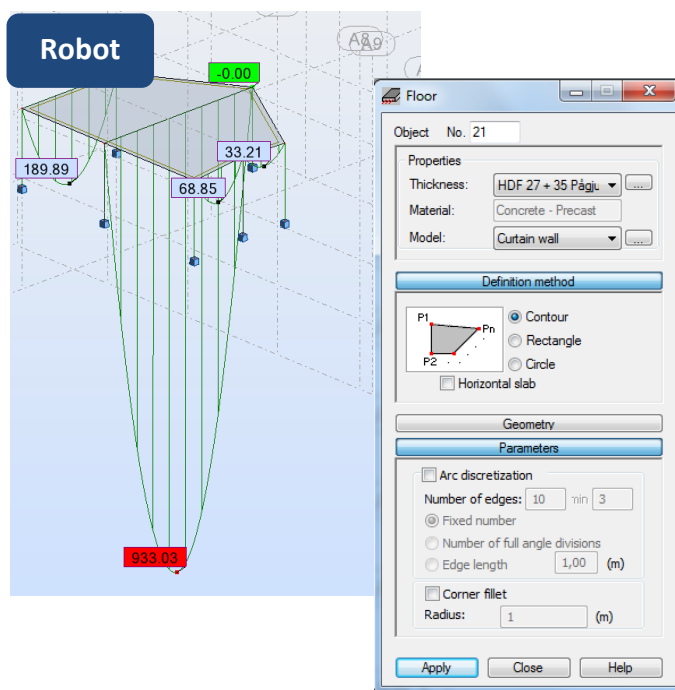
Figur 59: Jämförelse av moment i FD vid avstyvande bjälklag i förhållande till ett icke avstyvande Cover samt med avstyvande bjälklag i Robot.

Om istället den del av konstruktionen som innehåller den aktuella balken isoleras och exporteras är till en början resultaten snarlika de som uppnås då hela konstruktionen

analyseras. FD ger ett moment på 70 kNm medan Robot istället anger 933 kNm för samma balk.

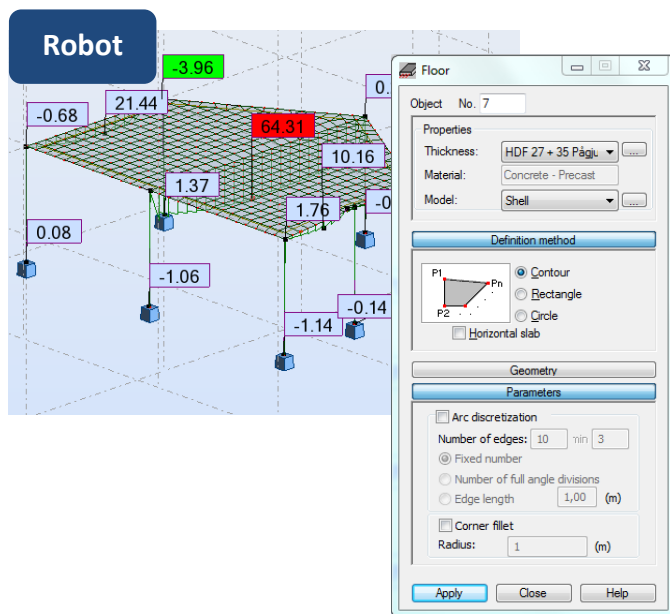


Figur 60: Utvald del av modell för analys i FD.



Figur 61: Utvald del av modell för analys i Robot, inställning Curtain wall.

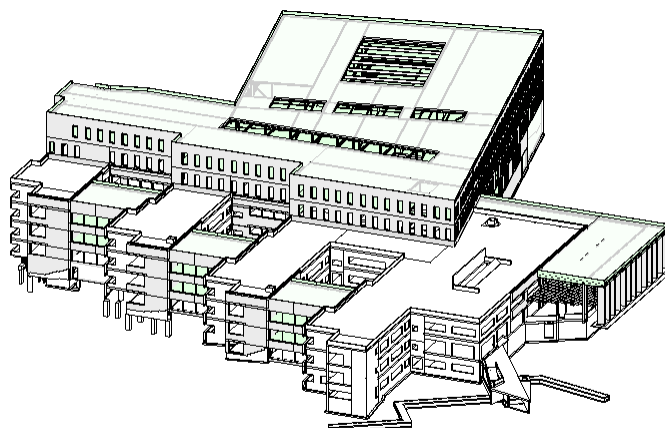
Detta beror på att bjälklaget i Robot under *Object properties* → *Model* är inställt som *Curtain wall*. Efter att denna inställning har ändrats till *Shell* är resultatet mycket nära det som ges av FD, med ett moment på 64,31 kNm. Bjälklaget i Robotmodellen för Alelyckan är dock redan inställda på *Shell* och inställningarna ser även i övrigt korrekta ut.



Figur 62: Utvald del av modell för analys i Robot, inställning Shell.

Det framstår som uppenbart att plattan inte fungerar avstyvande i någon större utsträckning, om ens alls. Vad detta beror på verkar dock vara svårt att utröna. Det är möjligt att det rör sig om någon form av bugg i programmet eller modellen, eller så anser Robot att balkarna och bjälklaget är modellerade på ett sådant sätt att de inte är tänkta att samverka. Resultaten i FD är rimliga givet hur modellen är uppbyggd, men speglar egentligen inte den tilltänkta byggnadens strukturmekaniska verkningssätt. De prefabricerade betongelement som kommer att användas för i bjälklagen kommer inte att bestå av planvis heltäckande och sammanhängande skivor, utan istället utgöras av mindre element som sammanfogas till en helhet. De kommer därför att ha betydligt sämre stabiliserande och lastutjämnande egenskaper och den nuvarande modellen, vilken därför i nuläget underskattar lasteffekterna på balkarna.

3.6 Testprojekt – Humanisten



Figur 63: Om- och tillbyggnad av Humanisten

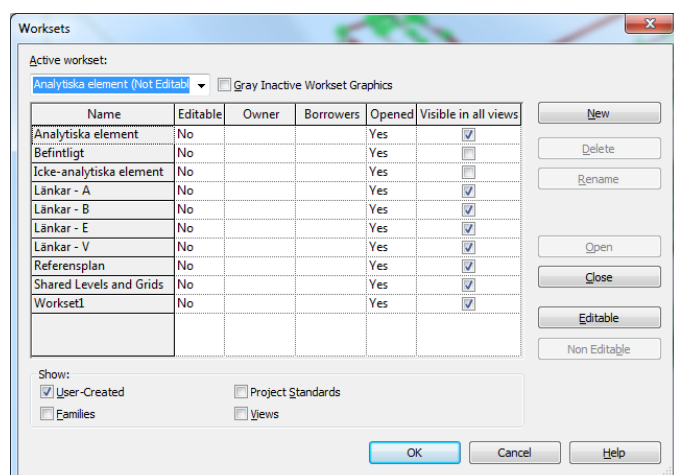
Nästa projekt som valdes för utvärdering var den planerade omvandlingen av den humanistiska fakulteten vid Göteborgs Universitet, nära Korsvägen i centrala Göteborg. Projektet skiljer sig på flera avgörande sätt från Alelyckan. Istället för nybyggnation av ett sammanhängande byggnadsverk, med ett projekt i relativt sent i systemhandlingsskedet, rör det sig här om ombyggnad och tillbyggnad av en befintlig byggnad, där separata nybyggnationer ska sammanfogas med delvis ombyggd befintlig byggnation till en fungerande helhet. Det bärande systemet uppvisar dock många likheter med Alelyckan. Även här består byggnaden av ett bärande system av stålbalkar och stålpelare, på vilket skivelement av prefabricerad betong vilar. Byggnadens geometri är mer rätlinjig än Alelyckan och saknar de lutande och sneda partier som återfanns i den utbyggnaden. Geometrin kompliceras istället av det faktum att byggnaden möter det befintliga, vilket skapar stora variationer mellan våningsplanen i den nybyggda strukturen. I vissa delar av byggnaden är det bara ett par våningsplan som byggs till, medan det i andra rör sig om så många som sju. Ramböll har i samråd med arkitekten hjälpt till att förverkliga beställarens vision och utrett ett lämpligt val av statiskt system i byggnaden. Humanisten befinner sig också i systemhandlingsskedet, men den version av modellen som befann sig betydligt längre ifrån leverans än Alelyckan. Projektet var också betydligt mer komplext till sin natur, både med avseende på byggnadens storlek och konstruktion och på samverkan med befintliga byggnadsverk.

3.6.1 Förberedelse av analytisk modell

Besluten rörande vilka delar av byggnadsverket som var lämpliga att inkludera i den analytiska modellen fick större vikt i Humanisten än i Alelyckan, då det förstnämnda är ett betydligt komplexare projekt. Det fanns lämpligt att exkludera den befintliga delen av byggnaden, dels då informationen rörande dess element var ofullständig i modellen, dels då denna var på förhand given och det endast kunde bli fråga om att hantera infästningar och göra eventuella förstärkningar. Reaktionskrafter från en

beräkning baserad på en modell av nybyggnationen kan användas som underlag för fattandet av sådana beslut, varför fördelen med det merarbete som en analytisk modellering av hela byggnaden skulle innebära ansågs ringa.

Även här utfördes arbetet på en kopia av den centralfil som konstruktörerna på Ramböll arbetade med. Denna öppnades och sparades som en ny fil, precis som Alelyckan. På grund av komplexiteten i projektet och det faktum att *Worksets* används för att dela upp byggnaden i befintliga och nybyggda delar användes denna funktionalitet i arbetet med projektet. Detta innebar att *Detach from central* bockades i vid öppnandet av projektet, men att *Detach and preserve worksets* sedan valdes. På detta sätt skapades en ny centralfil, fristående från den kopia som Ramböll tillhandahållit. Två nya i *Worksets* skapades sedan, *Nytt – Analytiskt* och *Nytt – Icke-analytiskt*, för att ytterligare kunna dela upp byggnaden. Detta gjorde även modellen mer lättarbetad och mindre resurskrävande, då färre element behövde ritas upp av Revit under arbetets gång. Vissa element tillhörde ett standard-workset, *Workset 1*, som i Revit är förvalt vid skapandet av nya element. En del av dessa gick heller inte att flytta till andra *Workset*. Detta gällde till exempel vissa analytiska noder i projektet. *Workset 1* lämnades därför synligt under arbetets gång.

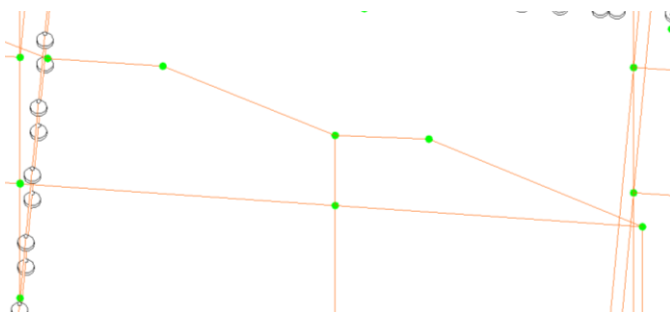


Figur 64: Dialogruta i Revit, *Worksets*.

En systematisk genomgång av byggnaden gjordes sedan. Då ett principiellt beslut om att utesluta befintliga delar av konstruktionen från analys fattats avmarkerades därför först *Enable Analytical* för alla dessa element. Detta förenklades betydligt av den indelning i worksets som gjorts. Genom att bocka ur övriga worksets i kolumnen *Visible in all views* under verktyget *Worksets*, eller genom att anpassa inställningarna i *Visibility/Graphics* var det enkelt att gömma allting utom de befintliga elementen. Tyvärr var det sedan inte så pass enkelt som att markera alla element i vyn och bocka ur valet för analysmodell, då även element som saknade inställningar för analysmodellen då markerades. Istället förflöt arbetet så att ett element markerades, varefter *Select all instances in view* aktiverades genom att högerklicka och välja detta kommando. Elementen togs sedan bort från analysmodellen. Arbetet gick först mycket fort, då stora och återkommande element snabbt hanterades, varefter takten i

arbetet minskade i takt med att endast små och unika element återstod. Efter att alla element gått igenom släcktes modellen och analysmodellen tändes, varefter kvarblivna element även de gjordes icke-analytiska. Därefter släcktes Befintligt och Workset1, vilket rymde elementen i den nya byggnaden, tändes.

Indelningen av modellen i analytiska och icke-analytiska element följde enligt samma mönster som för Alelyckan. Alla delar av den bärande stålstommen markerades för att ingå i analysmodellen. Samma sak gällde för bjälklagen, de bärande delarna av fasaden, håltagningar och takkonstruktionen. Även i denna modell återfanns samma modellering av väggarna, med ett inre skikt i betong och ett yttre med betong, isolering och fasadmaterial. Balkar som stöttade trappor inuti byggnaden behölls, då de var en integrerad del av stålstommen. Isolering, trappor och en del grundkonstruktioner uteslöts från analysmodellen. Under arbetets gång var det analytiska worksetet släckt, vilket gjorde att element försvann från den aktiva vyn i Revit när de placerades i det worksetet. På detta sätt blev det enkelt att se vilka delar av konstruktionen som redan behandlats. En del element som borde tillhöra Befintligt tillhörde Workset1 men placerades efterhand rätt.

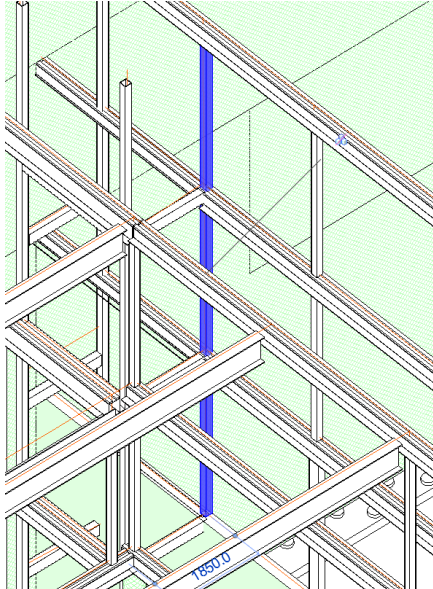


Figur 65: Analytiskmodell i Revit, balkar vid trappa.

När väl den första fasen avklarats fortsatte arbetet med att manuellt justera den analytiska modellen där det var nödvändigt. Arbetet fortskred på samma sätt som för Alelyckan. Då modellen var mer komplex än tidigare var det ibland svårt att avgöra hur konstruktionen var tänkt att fungera och att skapa en överblick över de olika elementen. Då projektet befann sig på ett tidigare stadium fanns också större behov av korrigering av många element, som inte riktigt mötte varandra eller fick icke-önskvärda excentriciteter. På grund av undersökningens inriktning och omfattning valdes att i första hand lösa de uppkomna problemen i analysmodellen istället för att korrigera strukturmodellen. Precis som för Alelyckan definierades stöd direkt i Revit.

Nya utmaningar i projektet i övrigt var att bjälklaget här, mer korrekt, var uppdelat i olika element. Detta medförde ett behov av att se till att bjälklagen mötte varandra på ett korrekt sätt. För rent rektangulära element kunde detta enkelt lösas genom att justera analysmodellen manuellt med analytical adjust, men för mer komplexa former var detta inte alltid möjligt, utan ändringar fick då istället göras i strukturmodellen. På vissa ställen sträckte sig pelare över flera våningsplan, vilket ger väldigt långa knäcklängder i beräkningarna och därmed en lägre beräknad kapacitet. För att

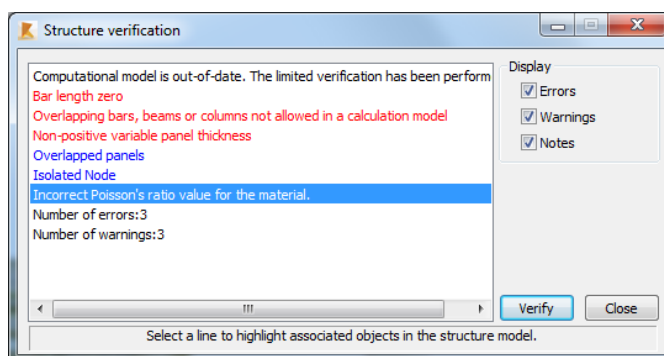
undvika detta ändrades pelarna i strukturmodellen till att endast omfatta ett plan, och kopierades sedan upp till övriga. Att först släcka alla golv i modellen och skapa en bra stålstruktur innan kopplingarna till golvet hanterades befanns vara ett mer effektivt arbetsflöde, då det gjorde det enklare att utröna om balkar verkligen mötte varandra eller pelare istället för att bara möta golvet.



Figur 66: Kontinuerlig pelare.

3.6.2 Analys med Robot

Modellen exporterades till Robot på samma sätt som Alelyckan. Då analysmodellen endast omfattade relevanta element fördes endast den nybyggda delen av projektet över. Efter detta kontrollerades modellen med Analysis → Verification. Robot ger då ett antal fel och varningar.



Figur 67: Felmeddelande i Robot.

Bar length zero berodde återigen på att en balk med längd 0 återfanns i Revitmodellen och försvann efter denna tagits bort i Revit och modellen exporterats igen.

Overlapping bars, beams or columns berodde på felaktigheter i hanteringen av de pelare som kopierats till andra plan. Antagligen hade dessa klistrats in två gånger i modellen. På många ställen i modellen användes UPE-balkar för att bära upp bjälklaget. Dessa placerades då parallellt med varandra, eller med andra balkar och med inställningen för analysmodellen satt till Auto-detect sammanföll dessas analyslinjer. Detta hanterades genom att ändra inställning till Projection. Vissa element från Befintligt hade tillhörde fortfarande analysmodellen, vilket skapade konflikter men enkelt gick att lösa. Vid en punkt i taket korsade två balkar varandra i analysmodellen, vilket löstes med Analytical adjust.

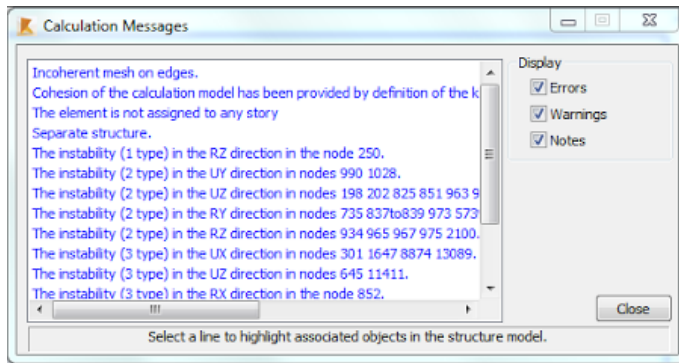
Non positive variable element thickness berodde på att liten del av fasad felaktigt hamnat i analysmodellen.

Overlapped panels pekade på vissa möten mellan olika delar av bjälklaget.

Incorrect poissons ratio berodde på några balkar som felaktigt kommit att tillhöra analysmodellen saknade korrekta materialegenskaper. Analysmodellen stängdes av för dessa.

Unconnected nodes berodde dels på ett par delar av grundförstärkningen som fortfarande tillhörde analysmodellen, dels på några helt friliggande analytiska noder, som vid närmare inspektion var närmast osynligt små delar av grundförstärkningen

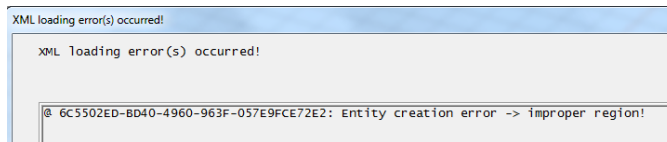
Efter dessa åtgärder visar Verification inte längre några felmeddelanden. Modellen beräknas nu i Robot, vilket visar ytterligare några element utan materialegenskaper som inte har i analysmodellen att göra och som därför tas bort från den. Ett nytt fel, **Model error – a cyclic reference in the definition of kinematic constraints** visar sig också. Några friliggande avsatser vid trappan markeras och tas därför bort då de inte är en egentlig del av det bärande systemet. Vissa förbättringar av modellen, bland annat bättre möten mellan väggar, görs för att skapa en mindre komplex mesh i vissa punkter. Efter att detta gjorts återstår endast problem med instabilitet av olika typer i noder, vilka dock är väldigt många till antalet. Vid närmare inspektion av modellen blir det tydligt att den i många punkter inte är sammanhängande och att ett stort arbete återstår för att göra den korrekt. Givet projektets storlek och att felen är av samma art som i Alelyckan anses den vinst arbetet skulle innebära inte motivera insatsen.



Figur 68: Felmeddelande i Robot, instabiliteter.

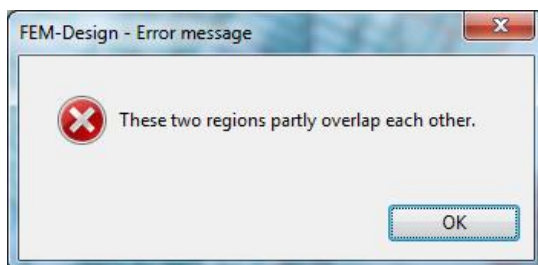
3.6.3 Analys med FEM Design

Export till FD skedde på samma sätt som för Alelyckan. På grund av projektets storlek behövde mappning ske för en stor mängd element. Importen till FD misslyckades dock på grund av problem med något ett av bjälklagen, då FD klagade på **Improper region**.



Figur 69: Felmeddelande i FD, XML loading error(s) occurred!

Genom att söka efter det utpekade elementet i StruXML-filen kunde elementets koordinater i FD bestämmas. För att kunna arbeta med StruXML-filen i FD togs det problematiska elementet bort från StruXML-filen varefter den öppnades i FD igen. Genom att stänga av alla snap-funktioner i programmet var det sedan enkelt att lokalisera det utpekade elementets placering i modellen, då FD kontinuerligt anger vid vilka koordinater som muspekaren befinner sig. På detta sätt blev det tydligt vilken den av modellen som orsakade problemet. Det felande objektet var ett golv i byggnadens bottenplan, som nu enkelt kunde lokaliseras i Revit för närmare inspektion. Efter att Alignment method ändrats till Projection och projektet åter exporterats blev det möjligt att importera projektet till FD utan felmeddelanden. Ett försök att beräkna modellen misslyckades dock med följande felmeddelande:



Figur 70: Felmeddelande i FD, These two regions partly overlap each other.

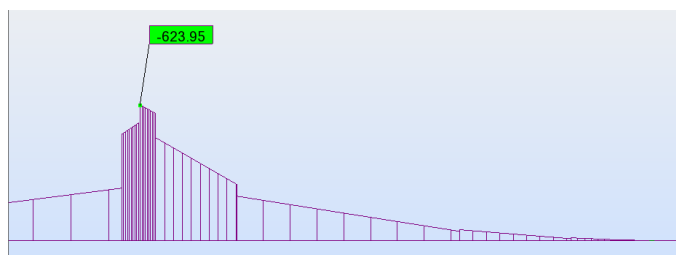
Då felmeddelandet inte ger någon information rörande vilka element som överlappar varandra, skapas en mesh stegvis för de olika bjälklagen i byggnaden, vilket nu blir

mer komplext då Levels och Grids inte stämmer överens med byggnaden på samma sätt som i Alelyckan. Istället får delar av byggnaden gömmas med verktyget *Hide* i FD, för att underliggande element ska kunna markeras. På detta sätt lokaliserar ett antal punkter där bjälklag överlappar varandra. Samma felmeddelande dyker upp och de aktuella elementen markeras av FD med diagonala streck i mörkgrått, men dock endast i vissa vinklar i programmet. Det blir därför nödvändigt att upprepa proceduren flera gånger för samma element, med något olika vyer i FD, för att kunna lokalisera de felaktiga elementen. Varefter felaktigheter upptäcks åtgärdas de i Revit och modellen exporteras på nytt.

Efter att alla överlappande bjälklag korrigerats görs ett försök att skapa en mesh för hela modellen, vilket dock gör att FD hänger sig. Genom att skapa en mesh för mindre delar av byggnaden blir det uppenbart att det i modellen uppstår ett stort antal fel av typen **Unable to create triangles** och även i vissa punkter **Elements are on a straight line**. Genom en översiktlig inspektion kunde det konstateras att felen i huvudsak berodde på felaktigheter i mötet mellan olika element i stålstrukturen. Modellens storlek, komplexitet och det faktum att den befinner sig i ett betydligt tidigare skede bidrar alla till att göra detta arbete mer omfattande och mer sammansatt. Då det inte fanns möjlighet att utvärdera eventuella resultat och då de identifierade problemen bedömdes vara snarlika de som redan hanterats i projektet Alelyckan ansågs det vara av begränsat värde för rapporten att avsluta arbetet i detta läge.

3.6.4 Utvärdering av beräkningar

Resultaten i Robot härrör från beräkningar som utfördes innan de fel som upptäcktes vid exporten till FD åtgärdats, varför tillförlitligheten hos resultaten får betecknas som mycket låg. Problemen består inte endast i att värdena i modellen är orimliga i någon riktning, utan i själva fördelningen av snittkrafter och moment i modellen, som på flera punkter tar sig märkliga uttryck. För att i detta skede göra beräkningar av modellen, till exempel för att göra en grov dimensionering av olika element, är det sannolikt en bättre idé att endast exportera vissa delar av modellen för analys. Om hänsyn ska tas till globala effekter krävs det att modellen är mer komplett för att analyser avseende dessa ska kunna utföras.



Figur 71: Exempel på momentdiagram från Robot

4 Kopplingens värde i projekteringsprocessen

Utifrån förstudien och de tester som genomförts kan det konstateras att projekteringsprocessen håller på att förändras och utvecklade möjligheter av att samordna modeller med beräkningsprogram kan leda till nya arbetsflöden. Detta kapitel sammanfattar kopplingens värde i projekteringsprocessen.

4.1 Gemensam modell och informationshantering

Det kan konstateras att den modellerade konstruktionen måste förberedas väl för att fungera korrekt om den med hjälp av befintliga kopplingar ska kunna användas tillsammans med beräkningsprogram. Modellen måste vara analytiskt korrekt och de bärande elementen innehålla rätt information om material, sektioners mått och infästningsvillkor, egenskaper som inte är avgörande för att modellen ska fungera som underlag för ritningsproduktion. Arbetet med att förbereda modellen är resurskrävande men ger också positiva effekter i projektet, då information som tidigare varit spridd över flera olika filer samlas i en enda modell.

En mer integrerad informationshantering har även flera andra potentiella fördelar. Att sammanställa information i en modell gör det lättare att sprida den, både mellan konstruktörerna och till andra discipliner i projektet. Det kan också samordningen mellan de involverade i projektet att hela tiden arbeta mot en helhet, där det snabbt blir uppenbart om konflikter uppstår. Under projekteringsprocessen uppstår ofta behov av ändringar i projektet beroende på önskemål från beställare och övriga discipliner, vilka vid varje tillfälle behöver kommuniceras inom projektet. I dagens läge arbetar ritingenjörer och beräkningsingenjörer ofta parallellt i olika program, vilket kan innebära en risk för att skillnader uppstår i de respektive aktörernas modeller, vilka kanske inte upptäcks förrän sent i projektet. Vid varje tillfälle som data skall tillföras en modell finns en risk att felaktigheter uppstår på grund av den mänskliga faktorn. Genom att samla informationen i en gemensam modell behöver egenskaper som materialdata och tvärsektioner bara definieras en gång och det blir mindre komplext att utföra en kvalitetskontroll av projektet.

Hanteringen och spridningen av information kan vid skapandet av en enad modell även dra nytta av de fördelar Revit har jämfört med beräkningsprogrammen. I Revit finns kraftfulla verktyg för att samarbeta över ett nätverk, med möjlighet att styra behörigheter för olika användare och en automatiskt upprättad historik över ändringar. Det blir också möjligt att på ett tydligt sätt dela upp en struktur i mindre delar genom användandet av Worksets i programmet. Om parallella modeller upprättas kan dessa möjligheter i respektive program vara mer begränsade och en ny komplexitet uppstår i samordningen dem emellan.

4.2 Förändrade arbetsflöden

Genom att koppla den strukturella modellen direkt till beräkningsprogrammen förändras arbetsflödet under projekteringsprocessen. Modellen ritas nu bara upp en gång och det som tidigare varit skilda arbetsuppgifter kan nu bli en. Då modellerandet och beräkningarna med det nya arbetssättet blir intimt förknippade med varandra ställer detta höga krav på samarbetet i projektet då flera konstruktörer är involverade. Det ställer också krav på en bredare kompetens hos de involverade, då en större förståelse för konstruktionens verkningssätt krävs av de ansvariga för modelleringen och en större vana vid modelleringsprogrammen av beräkningsingenjörerna. Detta medger möjligtvis inte en lika långt gången specialisering som kan vara möjlig i projekt med dagens arbetssätt, men samtidigt kan det vara önskvärt att konstruktörer utvecklar en helhetssyn, där kunskap finns både om hur en konstruktion beräknas och om hur den representeras. På Ramböll är det en uttalad ambition att utveckla en bred kompetens hos de anställda, då det ökar förståelsen för helheten i projekten. En bredare kompetens skapar också en större flexibilitet, där de tillgängliga resurserna kan hantera fler av de utmaningar som projektet erbjuder.

Behovet av att säkerställa en korrekt analytisk modell innebär onekligen ett merarbete, både i form av en ny dimension i modelleringsarbetet, men också i form av felsökning när väl export sker. Båda dessa aspekter kan vara tidskrävande och komplexa och kräver erfarenhet av konstruktören för att vara konkurrenskraftiga. Ändringar behöver göras med varsamhet så att de delar av modellen som ska vara oförändrade inte påverkas. Samtidigt undviks det dubbelarbete i form av parallell modellering och modifiering av två olika modeller som nuvarande arbetssätt innebär och risken för diskrepanser minskar. Vilket förfarande som är mest tidseffektivt varierar mellan olika projekt och beror på projektets komplexitet och målsättningen med de beräkningar som ska utföras. Genom att exportera hela produktionsmodellen till ett beräkningsprogram fås en komplett analys av hela byggnaden, men mervärdet detta innebär kan variera mycket beroende på konstruktionens art och konstruktörernas roll i projekteringsprocessen.

En begränsning i arbetsflödet som genom de tester som utförts blivit uppenbar är svårigheterna att skapa ett cirkulärt arbetsflöde mellan programmen, där en produktionsmodell exporteras till ett beräkningsprogram, ändringar görs för att sedan återföras till produktionsmodellen. För FD finns inte någon sådan möjlighet alls i dagsläget, men den är under utveckling och kommer att inkluderas i nästa version av kopplingen. Att importera en modell från FD till ett nytt projekt är inte heller problemfritt, då den grafiska representationen av modellen inte alltid ritas upp på ett korrekt sätt. Detta nödvändiggör ett avsevärt manuellt merarbete vid varje import och lär därför endast komma till användning vid enstaka tillfällen i ett projekt. Kopplingen mellan Revit och Robot är i teorin mer kraftfull och medger en uppdatering av modellen i båda riktningar. I testerna observerades dock omfattande problem, som gjorde detta informationsutbyte i praktiken oanvändbart. Vissa element uppdaterades

på ett felaktigt sätt och omfattande informationsförluster förekom. Utmaningen för Autodesk består inte i den konceptuella utformningen av kopplingen, utan i att göra den mer robust och tillförlitlig. Innan detta sker fungerar det i praktiken endast att överföra modellen i en riktning och sedan manuellt föra in ändringar i denna.

Alla tre av de undersökta programmen är objektbaserade, men hanteringen av objekt lämnar en del övrigt att önska. Det är i både Revit och FD omständligt att exakt identifiera ett visst element, till exempel genom ett ID-nummer, vilket innebär att det kan vara tidsödande att lokalisera ett element i Revit även om det är identifierat i FD, då användaren får utgå från elementets position i modellen. Via tillägget från StruSoft är det möjligt att söka efter element med dess StruXML-ID i Revit, men detta går inte att få fram i FD, även om vid arbete mot en StruXML-fil. I Robot är det tydligt vilket ID ett element har, men det finns ingen koppling till Revit-modellens hantering av detta, varför problematiken är densamma.

4.3 Möjligheter för konstruktören

Att arbeta med en samlad modell innebär förbättrade möjligheter att överblicka projektet, då all data finns samlad på ett och samma ställe. Det kan göra det lättare att behålla ett helhetsperspektiv och se till att konstruktionen samverkar på det sätt som är tänkt. I ett projekt med flera involverade konstruktörer blir det lättare att se till att konstruktionen är tillfredsställande ur alla aspekter. I mindre projekt kan ett nytt arbetssätt med kopplingarna innebära att det blir lättare för enskilda konstruktörer att själva hantera hela projektet. Värdet av att integrera modellering och beräkning är kanske då som störst, då samordningsproblematiken inte gör sig gällande här, samtidigt som de fördelar som arbetssättet medför består.

För vissa enklare strukturer är inte en fullständig modellering av hela strukturen aktuell. Det kan även vara så att uppgiften endast är att analysera en begränsad del av en byggnad. Möjligheterna att välja ut vissa delar av en modell för analys är goda och fungerar problemfritt. Med detta arbetssätt behöver bara utvalda delar ges en korrekt analytisk representation och arbetsbördan minskar i motsvarande grad. Detta kan också vara en fruktbar metod tidigare i processen, till exempel för att göra en grov uppskattning av erforderliga dimensioner på en stålstomme eller på individuella balkar som bedöms vara kritiska. Om hela modellen istället förbereds för analys öppnas möjligheter för avancerade FEM-analyser, där globala effekter på strukturen ingår. Den ökade detaljnivån innebär mer precisa beräkningar och därmed en optimerad konstruktion, vilket skapar ett mervärde. En komplett modell gör det också möjligt att utvärdera olika modifikationer av strukturen, såsom förstärkningar eller alternativa placeringar av bärande element, på ett lätthanterligt sätt.

Ett användande av en koppling mellan produktionsmodell och FEM är ett användbart verktyg, men ställer fortfarande stora krav på konstruktörens yrkeskunnande. Detta gäller under modelleringsfasen, men också då beräkningar görs, så att de erhållna

resultaten kan granskas på ett självständigt sätt. FEM-beräkningarna ger precisa resultat och det är viktigt att förstå vilka osäkerheter som finns i dessa, samt att lokalisera eventuella felkällor i modellen. Erfarenhet och yrkeskunskap är också avgörande för vilket värde ett informationsutbyte programmen emellan har för konstruktören. En erfaren konstruktör med god vana med de aktuella programmen har helt andra möjligheter att utnyttja dem till sin fulla potential än en medarbetare med mer blygsamma kunskaper.

4.4 Utmaningar och risker

Att samla all information i en modell medför vissa risker. Det blir än viktigare att se till att den data som samlas där förblir tillgänglig över tid. Det ledande öppna filformat som finns i branschen, IFC, är tyvärr i dagsläget inte moget att använda i arbetsprocessen, vilket innebär att användaren är hänvisad till de proprietära filformat som tillhandahålls av programutvecklarna. För att dokumentera resultaten av analysen i beräkningsprogrammen är det nödvändigt att spara dessa i en separat fil. Med anledning av detta kommer därför modellen vid projektets att finnas sparad i två separata filformat, vilket minskar riskerna för inläsning något.

Ett annat problem är tillförlitligheten hos kopplingarna. Det finns en risk att svårösliga, eller till och med olösliga, problem uppstår efter att avsevärda resurser har avsatts till att förbereda modellen för analys. De tester som utfördes resulterade ibland i att oväntade fel uppstod, fel som först inte uppenbart kunde härledas till en felaktig modellering utan som istället verkade bero på buggar antingen i beräkningsprogrammen som sådana eller i kopplingarna. Till slut kunde det konstateras att det fanns fel i produktionsmodellen, men felmeddelanden var ofta väl korthuggna, om inte direkt kryptiska. Felsökningen fick då ibland mer arten av gissningslek än kvalificerat arbete. Detta gällde speciellt FD, som vid flera tillfällen klagade på felaktigheter hos element, utan att närmare specificera vilket element felet rörde. I en stor modell blir det då inte möjligt att vända på varenda sten. Rörande Robot var istället problemet att många av de fel i modellen som FD pekade ut, vilka var betydande, inte upptäcktes av Robot.

Relaterat till detta är också risken för att information korrumpas i överföringen på ett sådant sätt att det inte blir direkt uppenbart i form av felmeddelanden och dylikt. Detta är fullt tänkbart med tanke på komplexiteten i modellerna. En noggrann utvärdering av ett stort antal projekt skulle behöva göras för att säkerställa att sådana problem inte uppstår, men det har inte observerats i de i rapporten aktuella projekten. Kvalitetssäkring och noggrann utvärdering av resultaten blir än viktigare steg i arbetsprocessen och det bör återigen understrykas att det är omöjligt att lita blint på resultaten, utan att en integration av modellering och beräkning endast ger nya verktyg.

Ansvarsfördelningen inom ett företag aktualiseras också, då ritingenjörens och beräkningsingenjörens roller kan komma att flyta samman och båda helt oavsett detta kommer att arbeta i samma modell. Ramböll har uttryckt ett intresse för notifikationer då element ändras, vilket saknas då möjligheterna att uppdatera Revit-modellen är bristande. Detta kan dock hanteras genom de inbyggda verktyg för arbetsdelning som finns i Revit via arbete med Worksets. Verktöget *Show History* gör det möjligt att se när ändringar utförs och av vem och det är även möjligt att lämna kommentarer när användaren synkroniserar med centralfilen.

5 Slutsats och diskussion

Tester genomfördes för att utreda nya möjligheter med kopplingar mellan modelleringsprogram och beräkningsprogram. Resultatet av testerna bekräftade kända brister hos kopplingarna men påvisade också nya. Kopplingarna är under utveckling och mycket håller på att hända inom BIM. En del upptäckta brister åtgärdades i uppdateringar släppta under arbetet med denna rapport och arbete pågår med att åtgärda kända brister. Det kan konstateras att överföring av modeller från modelleringsprogram till beräkningsprogram fungerar väl även om det ställer krav på modellerna och deras analytiska element. Vid återföring av modeller efter dimensionering i beräkningsprogrammen uppstår problem. De olika programvarornas tolkning av till exempel orientering av element gör att strukturen ändras jämfört med sitt ursprungliga utseende. Detta innebär att det inte är möjligt att göra justeringar i modellen efter dimensionering i beräkningsprogrammen för att i sin tur uppdatera modellen i modelleringsprogrammet. I en jämförelse mellan de olika beräkningsprogrammen FD och Robot utifrån de tester som genomförts kan en slutsats vara att FD skapar mer tillförlitliga analyser än Robot medan Robot erbjuder större möjlighet till felsökning av analysmodellen. Detta innebär att högre krav ställs på en korrekt utförd strukturell modell innan överföring till FD då det kan vara svårt att utreda eventuella fel och brister i modellen. Dock tycks FD skapa mer tillförlitliga mesher och mer konsekventa resultat vid analys. I ett arbete med att modellera och dimensionera med hjälp av de nya kopplingarna är det nödvändigt att i ett tidigt skede bestämma sig för att använda detta arbetssätt. Utifrån de undersökningar som gjorts inom ramen för denna rapport bedöms användandet av en envägskoppling från Revit till FD vara ett realistiskt alternativ till den nuvarande konstruktionsprocessen. Detta gäller både export av hela modeller och utvärdering av utvalda delar av en byggnad.

Det finns ambitioner om att skapa ett universellt filformat för att möjliggöra samarbete mellan alla programvaror. Det nya filformatet är IFC och utvecklas av buildingSMART. Kopplingarna som testats i den här rapporten är idag utformade så att överföring sker med tillverkarnas egna filformat även om samtliga har möjlighet att både exportera och importera IFC. Vid försök att exportera modeller i Revit till IFC för att sedan importera till Robot respektive FD konstaterades att kompatibiliteten är ofullständig. Användaren begränsas därför till tillverkarnas filformat vilket leder till ett beroende av enskilda programvaror. Detta är inte en begränsning för de utredda kopplingarna men ett användande av IFC skulle underlätta för fler aktörer att implementera BIM i projekteringsprocessen.

Rapporten har också utrett kopplingarnas inverkan på projekteringsprocessen. En fullt fungerande BIM har stor potential och möjliggör många olika tillämpningar för de iblandade aktörerna i processen. För att uppnå en sådan BIM måste dock de olika aktörerna inte bara ha resurserna men också rätt kompetens och rätt programvaror. Projekteringsprocessen är komplex och ställer höga krav på att information sprids

korrekt till samtliga aktörer. Även om BIM underlättar för informationsspridning måste planeringen av ett projekt också förbereda de olika aktörerna på vilka tillämpningar av modellen som tänkts. För konstruktören innebär detta en korrekt analysmodell. Ofta ritas modellen av arkitekten var vid det blir upp till beställaren att ställa rätt krav på modellen. Utifrån de testprojekt som utvärderats kan det konstateras att det är möjligt att hantera och justera en modell för att den ska gå att beräkna till en viss utsträckning. I dagsläget är underlaget för konstruktören A-modell som visar tänkt utformning och planer för byggnaden. För Ramböll innebär detta att konstruktionen av byggnaden modelleras upp, både som ritningsunderlag och för dimensionering. Genom att skapa analytiskt korrekt modell i Revit kan kopplingen utnyttjas för överföring till FD. På så sätt skapas modellen bara en gång och de involverade i projektet kan bli delaktiga i ett mer integrerat projekt. Förändringar som sker under processen justeras då i Revit, en ny överföring sker till FD och en uppdaterad analys kan genomföras.

Det arbete som i en inledande fas är nödvändigt för att anpassa en produktionsmodell för analys, i form av specifikationer av korrekta material och tvärsnitt, är även avgörande för om en modell kan användas som underlag för mängdning av material och för energianalys. I ett projekt där BIM-arbetet även omfattar de företeelserna, innebär denna första fas inte något extra arbete sett ur hela projektets perspektiv. Detta kan bidra till att skapa en betalningsvilja för en komplett modell hos beställaren, istället för att denne endast upphandlar ritningar och vissa beräkningar. Den återstående andra fasen, där analysmodellen modifieras, blir då den enda merkostnaden för att en komplett analys av hela byggnaden ska kunna utföras. Arbetsinsatsen som detta innebär ska jämföras med den som krävs för att upprätta och samordna två separata modeller, eller för att dimensionera byggnaden med manuella beräkningar.

Sammantaget innebär en integration av dimensioneringsarbetet med BIM möjligheter för konstruktören att skapa ett större mervärde. Precis som med 3D-CAD finns säkerligen stora fördelar för de aktörer som tidigt anammar den nya tekniken och lär sig behärska den, då dagens utopi snart blir morgondagens vardag. Utvecklingen pågår och det finns värde i att fortsätta utvärdera kopplingarnas potential och även modelleringsprogrammets utökade möjligheter till analys. Genom att införliva konstruktionsarbetet i produktionsmodellen tas ett stort steg mot ett integrerat arbetssätt i enlighet med filosofin bakom BIM, ett stort steg mot en modell att räkna med.

6 Referenser

Autodesk. (2014). *Integrating Autodesk Revit, Revit Structure, and Robot Structural Analysis Professional*. San Rafael

Autodesk. (2015a) *Program för byggdesign och konstruktion*. Hämtad 11 maj, 2015, från Autodesk. <http://www.autodesk.se/products/revit-family/overview>

Autodesk. (2015b) *Robot Structural Analysis Professional*. Hämtad 11 maj, 2015, från Autodesk. <http://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/features/all/list-view>

buildingSMART. (u.å.a) *About*. Hämtad 10 mars, 2015, från buildingSMART. <http://www.buildingsmart.org/about/>

buildingSMART. (u.å.b) *IFC Overview summary*. Hämtad 10 mars, 2015, från buildingSMART. <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-overview/ifc-overview-summary>

Granroth, M. (2011) *BIM - ByggnadsInformationsModellering. Orientering i en modern arbetsmetod*. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan

Nationalencyklopedin. (2015). *Finita elementmetoden*. Hämtad 24 mars, 2015, från NE. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/finita-elementmetoden>

Nordstrand, U. (2007). *Byggprocessen*. Stockholm: Liber

Stintzing, R. (2005). *Leda projektering i byggprocessen*. Stockholm: Formas

StruSoft. (2014). *StruSoft StruXML Revit Add-In – Manual: Using Revit – FEM Design link*. Malmö

StruSoft. (2015). *FEM-Design*. Hämtad 16 maj, 2015, från StruSoft. <http://www.strusoft.com/products/fem-design>

Svensk Byggtjänst. (u.å.). *Studenthandledning Byggprocessen*. Stockholm: Svensk Byggtjänst.

The Linux Information Project. (2006) *Vendor Lock-in Definition*. Hämtad 10 mars, 2015, från LINFO. http://www.linfo.org/vendor_lockin.html

US National BIM Standard Project Committee. (u.å.) *Frequently Asked Questions*.
Hämtad 10 mars, 2015, från NBIMS-US.
<http://www.nationalbimstandard.org/faq.php#faq1>

Bilaga 1

Date:
2015-02-26

Ref:
Iwona Budny

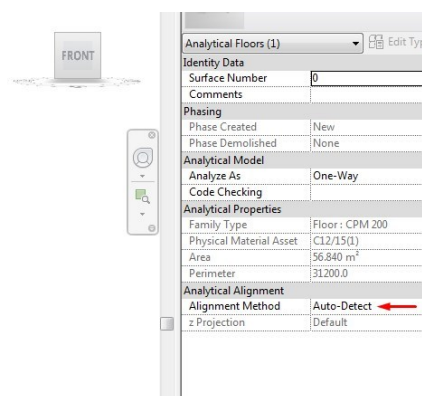
Phone:
+45 503 66 580

E-mail:
iwona.budny@strusoft.com

Skype:
StruSoft Iwona Budny

Your model:

1. Analysis model vs physical: the analytical floor and analytical foundation slabs are placed on the top face of the physical slab and foundations slab. The analytical alignment is set to Auto-detect

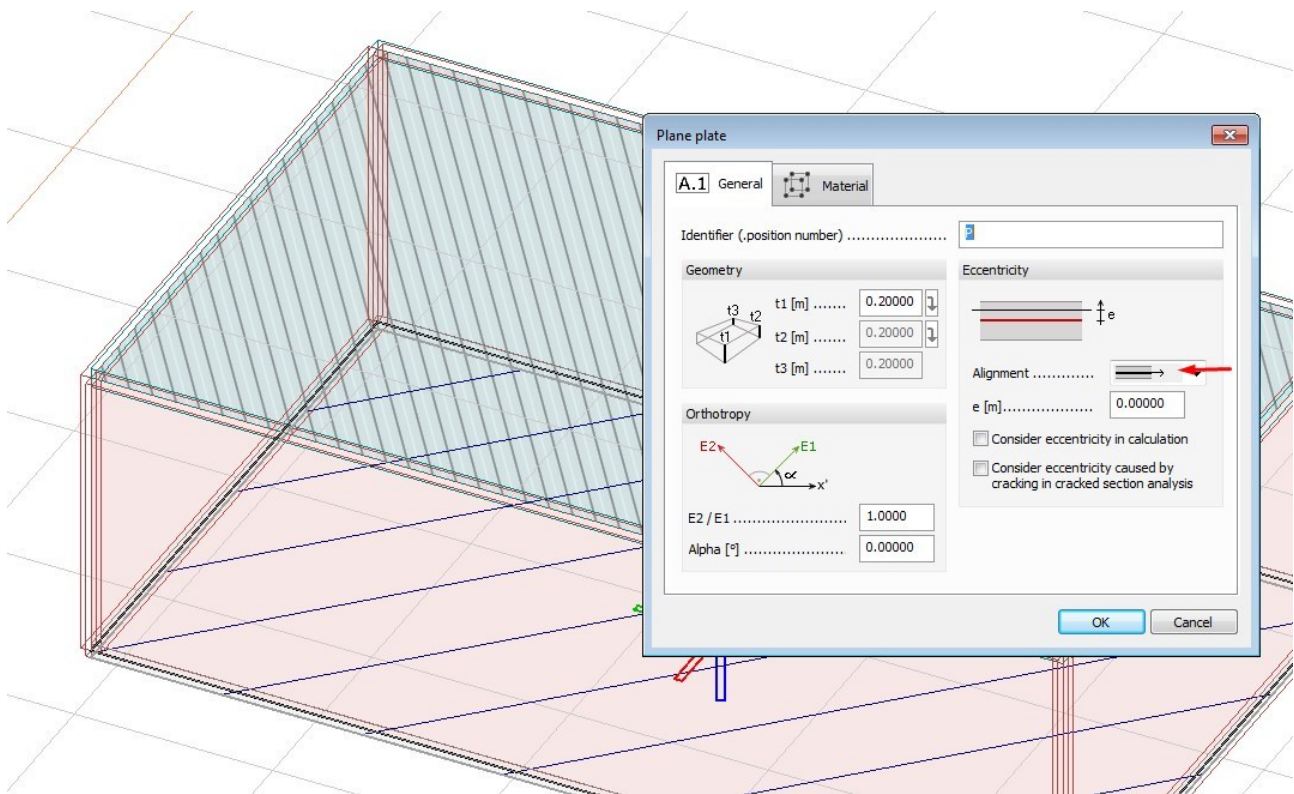


Remark: when Alignment method is set to Auto-detect, we are not able to export the eccentricity. The floor and foundation slab will be exported with the default eccentricity, which is center. To be clear, the exact position of the analytical floor / foundation slab will be exported, so the geometry of the structure will be just fine. It is only the eccentricity (position of the physical floor / foundation) that will not be correct in this case.

2. Export the current model to struxml and open in FEM-Design:



As expected, the floor and foundation slabs have the center alignment:



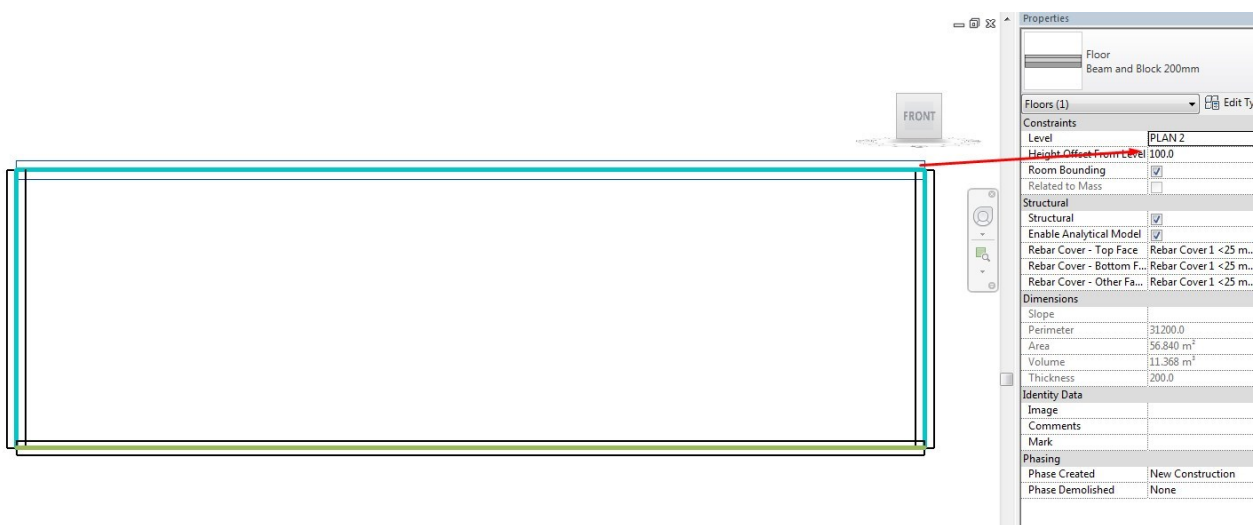
Again, to make it clear: the analytical geometry of the structure is correct. It is only the position of the slab that is set to be center, instead of the top face – as it was in the original Revit model. This is only visible if you display the thickness of elements in FEM-Design

3. Save the FD model to struxml and import to Revit.

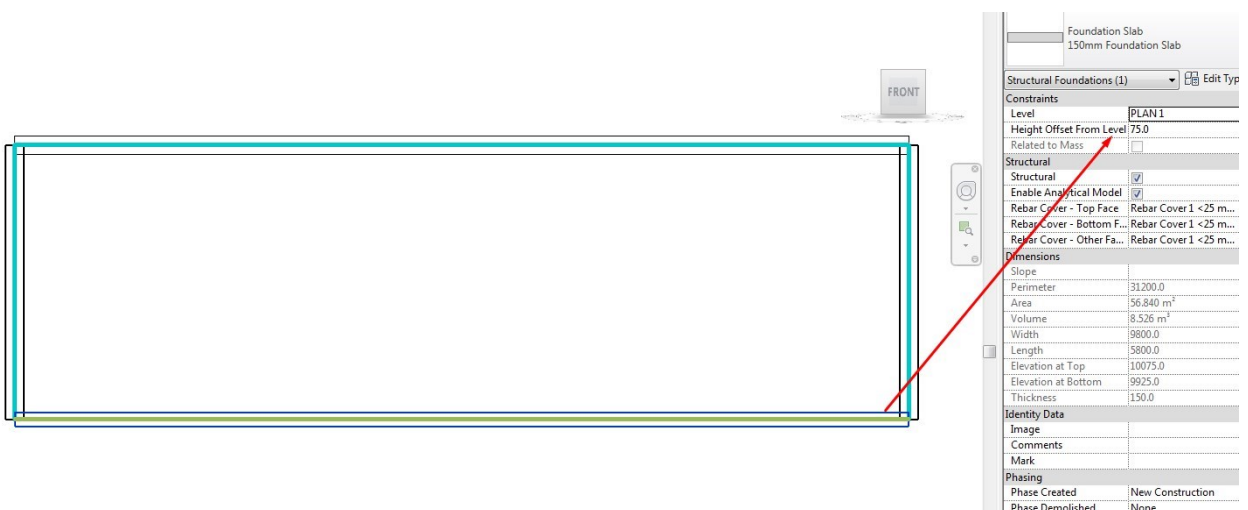
The position of the floor / foundation slab in FEM-Design was set to center, and this is how it is imported back to Revit – as center. Again, the analytical geometry is exactly the same, as in the original Revit model, but now the floor slab / foundation slabs are offset with a certain distance to provide the center alignment.



Top floor is offset 100mm:

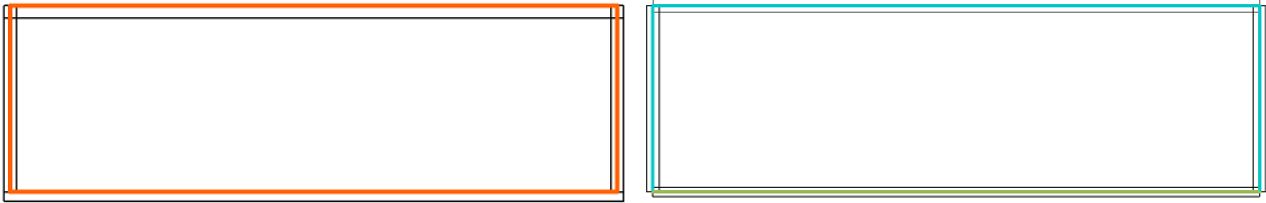


The foundation slab is offset 75mm:



There is no difference in the analytical geometry. The difference is only the position of the physical element in relation to the analytical model. Here is a comparison between the original model, and the imported model.

It is easy to see that the analytical floors are in the same plane, and only the floor “thickness” is offset.

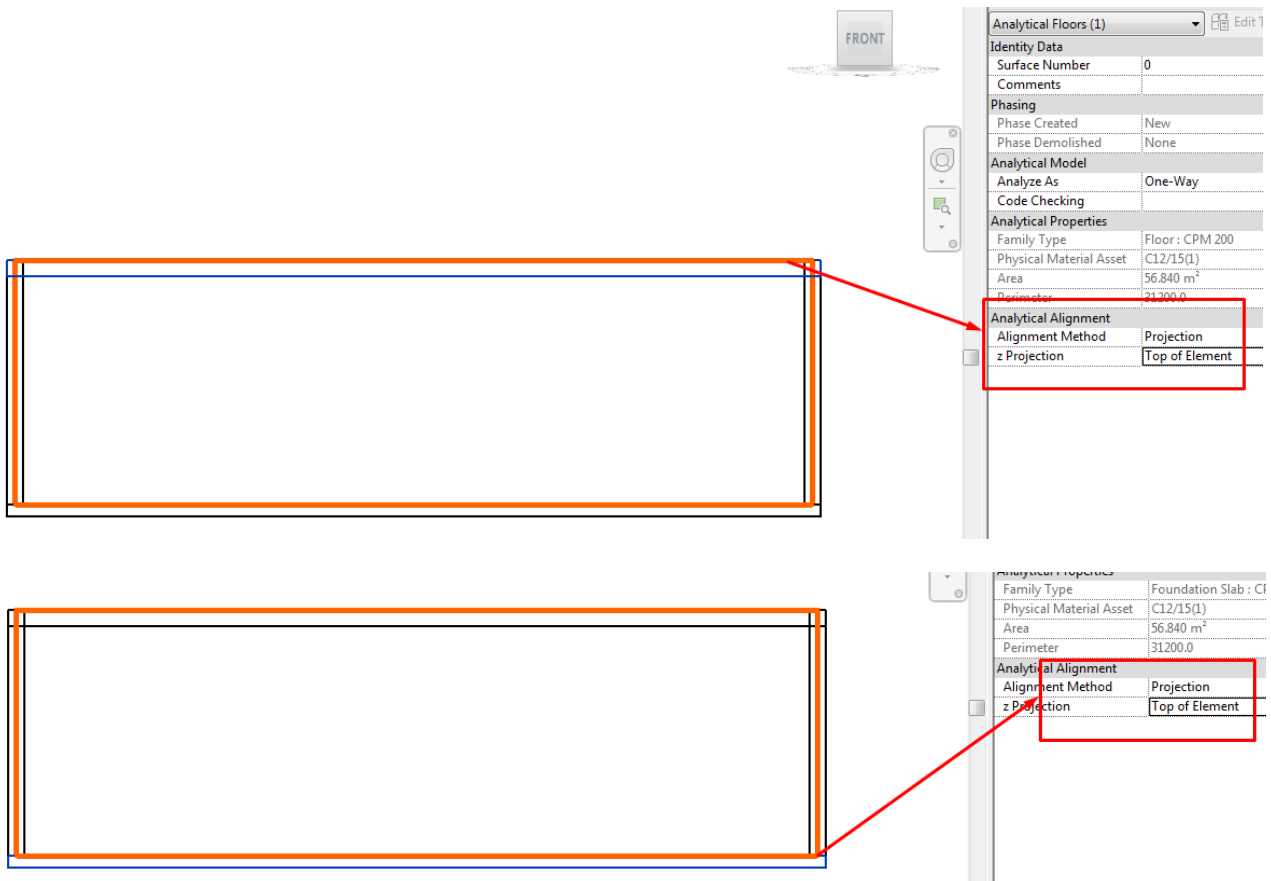


So in this case, with the particular settings you have in the original model (auto-detect and the position on the top), the model is supposed to behave this way. This is because we currently cannot read the eccentricity value when the element is set to auto-detect. It is explained in chapter 1.6 in the manual.

As I said earlier, we will soon work on redesigning how the eccentricity is exported from Revit, and hopefully we will be able to get the exact position independently on the setting. But until then, here is the solution:

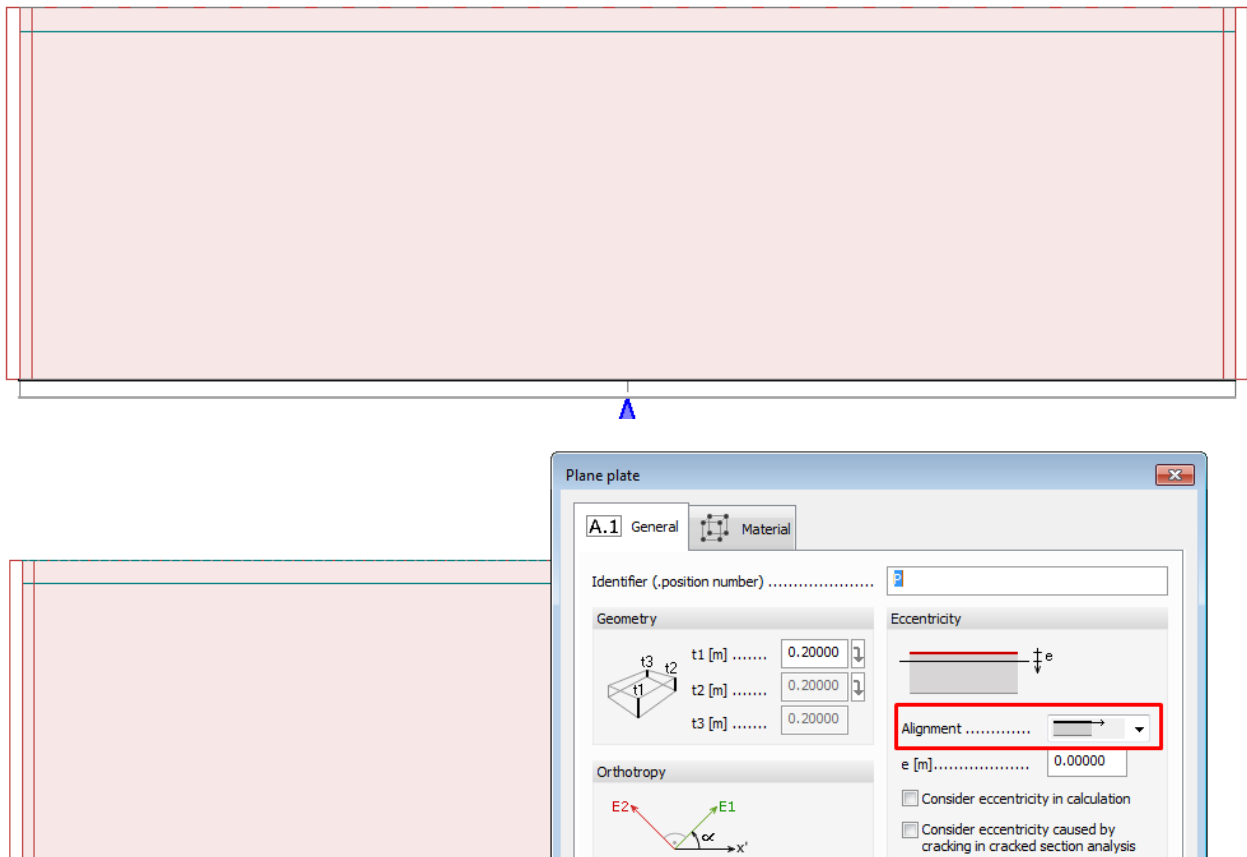
1. Modify your original model

Select the top analytical floor and change the Alignment method to Projection, and set the z-Projection to Top. Do the same for the foundation slab. Nothing has changed in the model, but the location of the analytical floor / foundation slab in relation to the physical thickness is now locked, and our add-in can recognize it.



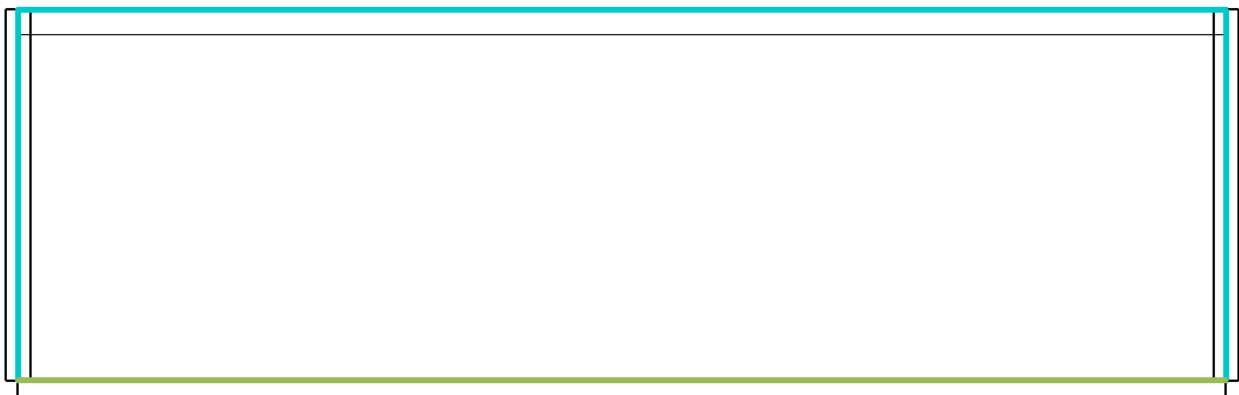
2. Export the model to struxml and open in FD:

Now the model in FEM-Design looks like the one in Revit. The eccentricity is set to top face

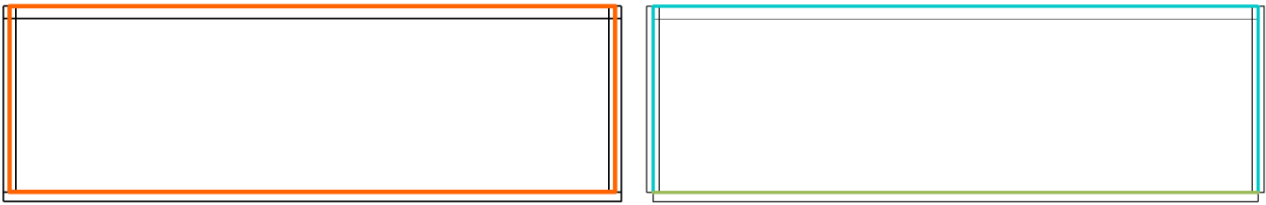


3. Save the FD model as struxml and import it to Revit

Now the model looks like the original one. Floor / foundation slab is imported so the analytical model is on the top face of the physical element (just as in FD).



Comparison of the original and imported model:



As you can see the only difference is the foundation slab “extension” to the sides. Here the problem appears at the initial export from Revit:

- We export the analytical model and assign it with the certain wall / slab thickness along the whole area of the analytical wall / floor. That is how FD works. The extension of the physical element is not common in the FEM program. So the difference happens between step 1 and 2.
- Then we import the exact model from FD to Revit, which is step 2-3. This works just fine, but then you end up with a small difference in the physical model between the original model and the imported model. This has to be adjusted manually in Revit.

