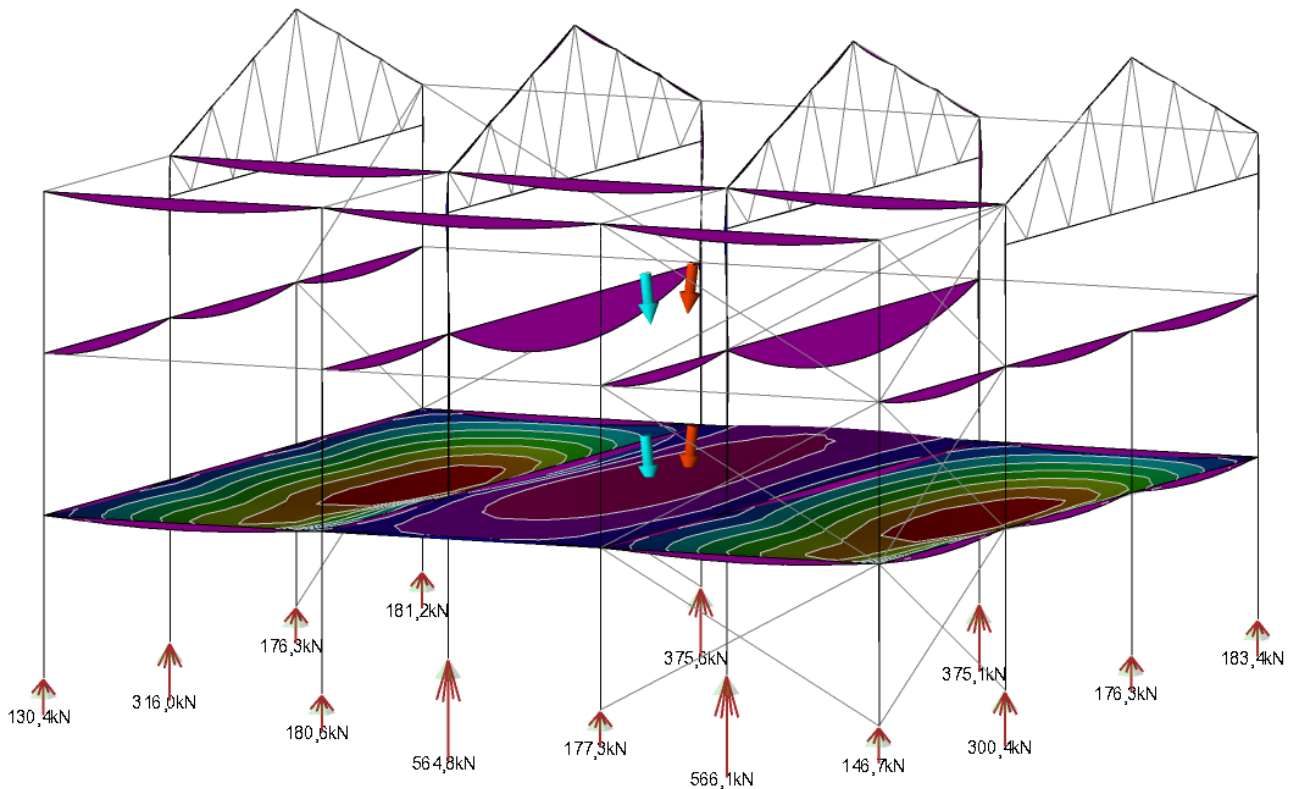




Kompatibilitet mellan ritnings- och beräkningsmodell för ökad effektivitet i projekt inom byggsektorn

En utvärdering av kopplingen mellan Tekla Structures och Tekla Structural Designer

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör

GUSTEN GÖTHE
OSCAR BERG

Kompatibilitet mellan ritnings- och beräkningsmodell för ökad effektivitet i projekt inom byggsektorn

En utvärdering av kopplingen mellan Tekla Structures och Tekla Structural Designer

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

GUSTEN GÖTHE

OSCAR BERG

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

Göteborg, 2016

Kompatibilitet mellan ritnings- och beräkningsmodell för ökad effektivitet i projekt inom byggsektorn

En utvärdering av kopplingen mellan Tekla Structures och Tekla Structural Designer

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

GUSTEN GÖTHE

OSCAR BERG

© GUSTEN GÖTHE/OSCAR BERG, 2016

Examensarbete BOMX03-16-20 / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2016

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

Omslag:
Analysresultat för en stålstruktur.

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2016

Kompatibilitet mellan ritnings- och beräkningsmodell för ökad effektivitet i projekt inom byggsektorn

En utvärdering av kopplingen mellan Tekla Structures och Tekla Structural Designer

Examensarbete i högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

GUSTEN GÖTHE

OSCAR BERG

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Construction Management

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Building Information Model (BIM) har de senaste åren varit ett omtalat ämne i byggbranschen och flera företag och programutvecklare har börjat se fördelarna som kommer av att en modell kan användas till flera olika ändamål. Trimble lanserade 2015 en analys- och dimensioneringsprogramvara, vid namn Tekla Structural Designer, som ska kunna utnyttjas på just detta sätt. Programvaran presenterades som helt sömlös i sin koppling mot det redan väl etablerade ritningsprogrammet Tekla Structures. Från ÅF:s husbyggnadsavdelning uttrycktes ett intresse för programvarorna och dess kompatibilitet. För att utvärdera om denna kompatibla koppling skulle kunna underlätta ÅF:s projekteringsarbete, efterfrågades en utredning av hur väl modellöverföringen fungerade i praktiken.

För att reda ut den teoretiska bakgrund som krävdes för arbetet tillsattes en litteraturstudie, som skulle ge kunskap om projekteringsprocessen i teorin. Även intervjustudier utfördes för att reda ut hur projekteringsarbetet såg ut på ÅF i dagsläget, och hur den kompatibla kopplingen skulle kunna utveckla och effektivisera deras arbetssätt. Kopplingen mellan programvarorna utvärderades i en fallstudie där både styrkor och svagheter uppmärksammades. Ett rekommenderat arbetssätt togs fram och en metod för att använda programmen med ÅF:s befintliga arbetsmetod presenterades.

De tester som genomfördes visade att kopplingen fungerade tillfredställande, förutsatt att projektören har en god förståelse för hur de två programvarorna samverkar samt vilka begränsningar som finns. Det rekommenderade arbetssättet förutsätter dock att modeller upprättas på ett väldigt exakt sätt, vilket i sin tur begränsar projektörens frihet att jobba på det sätt hen anser smidigast och kan leda till att viss handpåläggning måste utföras.

Det visade sig även vara möjligt att, utan att ändra sitt arbetssätt, kunna utnyttja den befintliga kopplingen. Dock skulle detta arbetssätt komma att leda till extra handpåläggning, då modellen som importerades till Tekla Structural Designer var trasig vid import och behövde lagas. Detta visade sig vara ett omfattande arbete.

Nyckelord: BIM, Tekla Structures, Tekla Structural Designer, analysprogram, Kompatibilitet, Modellering, Strukturanalys

Compatibility between drawing model and calculation model for increased efficiency within projects in the building sector

An evaluation of the interoperability between Tekla Structures and Tekla Structural Designer

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

GUSTEN GÖTHE

OSCAR BERG

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Construction Management

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Building Information Model (BIM) has been a hot topic in the building industry during the last couple of years and a lot of companies and software developers have come to notice the benefits of using a single model for different purposes. In 2015 Trimble launched an analysis and design software, called Tekla Structural Designer, which is possible to use in that exact manner. The program was presented as being seamlessly connected to the 3D-modelling software, Tekla Structures. The building construction section on ÅF was interested in the compatibility between the two softwares. To evaluate if the compatible connection could be used to facilitate the design work on ÅF, an investigation was requested to find out how well the transferring of models worked in practice.

To be able to sort out the theoretical background needed for the project, a literature study was conducted to bring knowledge about the design process in theory. Also interview studies was carried out to sort out how ÅF:s work is done in practice, and how the compatible connection between the programs could develop and streamline their ways of work. The connection between the softwares was evaluated during a case study in which both strengths and weaknesses were highlighted. A recommended way of work was presented as well as a method to use the compatible programs without changing ÅF:s way of work.

The case study showed that the connection was working in a satisfactory way, provided that the designer was well conversant with how the different softwares cooperate and with their limitations. The recommended way of work requires that the models are carried out in a very precise manner, which in turn limits the designers freedom of working in a desired way and could lead to some extra work.

It was also shown possible to use the connection between the softwares without having to change the existing way of work. This would lead to extra work though as the model imported to Tekla Structural Designer would be broken at import, leading to an extensive work mending the analysis model.

Key words: BIM, Tekla Structures, Tekla Structural Designer, Analysis software, Compatibility, Modelling, Structural Analysis

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Frågeställningar	1
1.4 Metod	2
1.4.1 Förstudie	2
1.4.2 Fallstudie	2
1.5 Avgränsningar	3
2 TEORI	4
2.1 Centrala begrepp	4
2.1.1 BIM	4
2.1.2 buildingSMART, BIM Alliance och IFC	4
2.1.3 FEM – Finita elementmetoden	5
2.2 Programvaror	5
2.2.1 Tekla Structures	5
2.2.2 Tekla Structural Designer	6
2.2.3 Tekla Structural Designer Integrator	7
2.3 Byggprocessen i stora drag	7
2.3.1 Programskedet	7
2.3.2 Projekteringsskedet	8
2.3.3 Produktionsskedet	8
2.3.4 Driftskedet	9
2.4 Projekteringen på ÅF	9
2.4.1 Projekteringen på ÅF enligt Lisa Beckman	9
2.4.2 Projekteringen på ÅF enligt Keyvan Zeidi	10
2.4.3 Tidigare examensarbeten	11
3 RESULTAT AV FALLSTUDIE	13
3.1 Allmänna rekommendationer och begränsningar	13
3.1.1 Namngivning av objekt	13
3.1.2 Håltagningar i betong	14
3.1.3 Armering av betong	14
3.1.4 Modellerings med trä	14
3.1.5 Stomlinjenät och construction lines	14
3.1.6 Begränsningar vid export	14

3.1.7	Analyslinjer	15
3.1.8	Verktyget Autodesign	17
3.1.9	Att laga en trasig analysmodell i TSD	17
3.1.10	Export och import av en lagad modell	20
3.2	Rekommenderat arbetssätt	22
3.2.1	Utsättning av objekt i TS	23
3.2.2	Arbete som utförs i Tekla Structural Designer	26
3.2.3	Återimport av modellen till Tekla Structures	27
3.3	Två sätt att modellera på ÅF	28
3.3.1	Exempel, Kärraskolan	28
3.3.2	Exempel, Gamlestadsskolan	33
4	SLUTSATS OCH DISKUSSION	39
4.1	Utvärdering av vald metod	39
4.2	Diskussion	39
4.3	Slutsats	40
4.4	Förslag på fortsatta studier	41
5	REFERENSER	43

Förord

I och med detta examensarbete avslutar vi vår utbildning på högskoleingenjörsprogrammet byggingenjör vid Chalmers Tekniska Högskola. Examensarbetet genomfördes på ÅF i Göteborg mellan januari och maj 2016 och omfattar 15 högskolepoäng.

Vi vill passa på att tacka avdelningen för husbyggnad på ÅF i Göteborg för deras stöd under arbetet med examensarbetet. Vi vill även tacka Trimble Corporation för att vi fick möjligheten att genomgå deras Teklakurs i stålmodellering, samt för att de varit behjälpliga och svarat på våra frågor genom hela processen. Ett särskilt tack riktas till våra handledare på ÅF, Lisa Beckman och Keyvan Zeidi, för att de guidat oss genom arbetet och pekat oss i rätt riktning när vi kört fast.

Ett stort tack riktas även till vår handledare på Chalmers, Mikael Johansson, som låtit oss gråta ut hos honom när saker och ting inte gått som vi tänkt oss.

Sist men inte minst vill vi tacka alla våra studiekamrater på utbildningen för tre händelserika år. Vi önskar er all lycka i framtiden!

Göteborg, juni 2016

Oscar Berg & Gusten Göthe

Nomenklatur

TS	Förkortning för Tekla Structures.
TSD	Förkortning för Tekla Structural Designer.
BIM	Kort för Byggnadsinformationsmodellering eller Byggnadsinformationsmodell. En modell bestående av flera olika objekt, innehållande information om en tilltänkt eller befintlig byggnad.
CAD	"Computer aided design". Samlingsbegrepp för programvaror som används för att uppföra digitaliserade ritningar och modeller.
IFC	"Industry foundation classes". Globalt filformat som används för delning av BIM.
FEM	Finita Elementmetoden, approximativ metod för att numeriskt lösa partialekvationer.
Analyslinje	Den linje i en balk, pelare eller annat byggnadselement som analysprogrammet utgår ifrån när beräkningar utförs.
.CNV	Filformat på konverteringsfiler som kan användas vid export och import.
.CXL	Filformat på den filen som skapas vid export från TS och TSD.
Handtag	Den linje i Tekla Structures, utifrån vilken objekt sätts ut.
Antimateria	osynlig geometri i Tekla Structures som används för att beskära och göra håltagningar.
Construction line	Linjer i TS & TSD som kan användas som komplement till stomlinjenätet.
Analysmodell	Den modell, bestående av oändligt tunna analyslinjer, på vilken en byggnads bärförmåga beräknas.
API	Application programming interface.

1 Inledning

I det första kapitlet beskrivs rapportens bakgrund, dess syfte, vilka frågeställningar som behandlas, vilken metod som använts samt vilka avgränsningar som har gjorts.

1.1 Bakgrund

Att arbeta med BIM (Building Information Modeling) har blivit allt vanligare i byggbranschen under de senaste åren. Med detta medföljer nya möjligheter att skapa en mer integrerad arbetsgång mellan konstruktör och projektör i termer av ritningshantering, modellering, konstruktionsberäkning och dimensionering. En ständig utveckling av BIM-programvaran har nu lett till att det är möjligt att, med hjälp av export och import, integrera konstruktionsberäkningar och dimensioneringar i BIM-processen. I och med detta kan dubbelt arbete undvikas genom att den befintliga 3D-modellen exporteras och även används som beräkningsmodell. Tidigare examensarbeten har behandlat detta ämne men har då hanterat kopplingar mellan mjukvaror från olika programvaruutvecklare. Det har då konstaterats att överföringen inte har fungerat utan viss handpåläggning (Nilsson, Svennered, 2012).

2015 släppte Trimble Corporation en ny programvara i Tekla-serien under namnet *Tekla Structural Designer*. På Teklas hemsida går det att läsa att de, i och med *Tekla Structural Designer*, erbjuder en sömlös BIM-integration (Trimble Solutions Corporation, 2016a). Med anledning av detta, och som ett steg i att effektivisera konstruktörens arbete, vill ÅF nu utvärdera kompatibiliteten mellan *Tekla Structures* och *Tekla Structural Designer*, för att se om den fungerar på ett sömlöst och kvalitetssäkert sätt.

1.2 Syfte

Syftet med rapporten är att utvärdera hur väl överföringen mellan programvarorna *Tekla Structures* och *Tekla Structural Designer* fungerar, samt att undersöka huruvida en kompatibel koppling mellan de två olika programvarorna skulle kunna effektivisera och underlätta konstruktörens och projektörens integrerade arbete. Rapporten syftar även till att utvärdera olika modelleringsmetoder i *Tekla Structures* och vad dessa får för konsekvenser i *Tekla Structural Designer*. Ytterligare syftar rapporten till att undersöka hur dagens projekteringsarbete ser ut i teorin, och hur detta arbete fungerar i en praktisk bemärkelse.

1.3 Frågeställningar

- Hur ser projekteringsarbetet ut i dagsläget i teorin kontra praktiken?
- Hur bör en modell byggas i *Tekla Structures* för att, med hjälp av export, och import, erhålla en kvalitetssäker och fungerande modell i *Tekla Structural Designer*, där en beräkning av strukturen utförs?
- Vilka möjligheter till att utnyttja kopplingen mellan *Tekla Structures* och *Tekla Structural Designer* finns, utan att ändra befintlig modelleringsteknik på ÅF?
- Vad skulle en fungerande koppling mellan de olika programvarorna få för effekter på konstruktörens och projektörens integrerade arbete?

1.4 Metod

För att uppnå rapportens syfte tillsattes en förstudie som skulle komma att ligga till grund för den senare fallstudien, där kopplingen mellan de två programvarorna skulle utredas.

1.4.1 Förstudie

Förstudien genomfördes i form av en litteraturstudie och en intervjustudie. Litteraturstudiens syfte var att bidra till en ökad förståelse för de teoretiska perspektiven på dagens projekteringsarbete. För att förstå hur detta teoretiska projekteringsarbete ser ut i en praktisk tillämpning utfördes även en intervjustudie.

Arbetet inleddes med att information inhämtades via sökningar, dels i bibliotekets kataloger men även på internet. Dessa sökningar resulterade i information från böcker, programutvecklarnas hemsidor, tidigare examensarbeten samt kurslitteratur från utbildningen.

Informationen vi hade tillägnat oss om det teoretiska projekteringsarbetet, samt boken *Kvalitativa Intervjuer* (Trost, J 2010) skulle senare komma att ligga till grund för de intervjufrågor som formulerades. Två respondenter utvaldes och intervjuerna utfördes hos ÅF AB i Göteborg den 5 februari respektive den 3 maj 2016.

För att kunna genomföra den tilltänkta fallstudien kontaktade vi Trimble för att undersöka möjligheterna till att utbildas i programvarorna som skulle komma att utvärderas. Förfrågan fick ett positivt utfall och en utbildning i *Tekla Structures* ägde rum hos Trimble i Västerås mellan den 20-22 februari, 2016.

1.4.2 Fallstudie

För att kunna inleda fallstudien var det av stor vikt att bli förtrogen med de olika programvarorna och dess funktioner. Därför inleddes arbetet med att utbildningsmaterial för *Tekla Structural Designer* gicks igenom. Efter att vi tillägnat oss god förståelse för hur de olika programvarorna, och kopplingen mellan dessa fungerade, inleddes själva fallstudien.

Arbetet med fallstudien inleddes i *Tekla Structures* där olika strukturer modellerades för att utvärdera hur *Tekla Structural Designer* tolkade dessa. Efter att denna process itererats ett flertal gånger och vi kunnat dra slutsatser om vad som faktiskt överfördes och inte, undersöktes möjligheterna till att lägga på laster och dimensionera dito modell, för att sedan återimportera den till *Tekla Structures*. Resultaten av arbetet utvärderades och analyserades för att kunna dra slutsatser om hur en modell bör upprättas för att erhålla en så kvalitetssäker koppling som möjligt.

När detta arbete utförts erhöles två K-modeller från ÅF. Dessa två modeller var modellerade av olika projektörer och skilde sig därför åt i modelleringssättet. Detta gjordes för att undersöka möjligheten till att utnyttja kopplingen mellan de olika programvarorna, utan att ändra det befintliga arbetssättet. För att göra detta arbete hanterbart valdes en isolerad del av modellen som undersöktes. Då vi var begränsade till den brittiska miljön i *Tekla Structural Designer* skapades replikor av de erhållna

modellerna i *Tekla Structures* brittiska miljö. Därefter överfördes modellerna till *Tekla Structural Designer* där analysmodellerna reparerades och dimensionerades, för att sedan återimporteras till *Tekla Structures*. I detta arbete utvärderades nödvändiga steg för att reparera en modell samt hur mycket handpåläggning detta arbetssätt skulle komma att leda till.

Avslutningsvis jämfördes de olika sätten att utnyttja kopplingen mellan programvarorna för att utvärdera vilket av dessa sätt som skulle kunna vara tillämpliga i praktiken.

1.5 Avgränsningar

Projektrapporten avgränsades till att utvärdera hur modelleringsprogramvaran *Tekla Structures 21.1* och analysprogramvaran *Tekla Structural Designer 2015i* samverkar. Kopplingen utvärderades med hjälp av *Tekla Structural Designer Integrator* som fungerar som en länk mellan de två tidigare nämnda programvarorna.

Avgränsningen motiveras med att Tekla är en av de ledande konstruktionsprogramvarorna på marknaden idag, och är det program som används mest vid ÅF:s husprojektering i Göteborg.

Arbetet avgränsades även till att undersöka hur väl geometrierna överfördes samt hur de olika objektens analyslinjer skapades vid export och import. Ingen hänsyn togs till huruvida beräkningarna i *Tekla Structural Designer* utförs korrekt. Dels för att vara förtrogen med att alla geometrier överförts korrekt, och att en korrekt analysmodell har skapats, innan beräkningarna kan verifieras, men även för att *Tekla Strucutural Designer* ännu inte har lanserats i Sverige, och på grund av detta inte innehåller de svenska eurokoderna.

2 Teori

I följande kapitel presenteras det resultat som har framkommit av förstudien som genomfördes i samband med detta examensarbete. I kapitlet presenteras dels de olika programvarorna och vissa centrala begrepp som hör till, men även hur byggprocessen ser ut i teorin och i praktiken.

2.1 Centrala begrepp

I följande avsnitt presenteras ett antal viktiga begrepp som kommer användas i rapporten, dessa har blivit en del av det fackspråk som idag används inom projektering i byggbranschen och förståelse för dessa är viktiga för att förstå sammanhanget.

2.1.1 BIM

Enligt Chuck Eastman et al. (2011) betyder begreppet BIM snarare ByggnadsInformationsModellering än ByggnadsInformationsModell. De hävdar att BIM snarare är en mänsklig aktivitet som innefattar breda processförändringar inom projektering, konstruktion och byggnadsunderhåll än en slags programvara.

BIM är en av de mest lovande utvecklingarna inom byggnadsindustrin de senaste åren. Med hjälp av BIM-programvara är det möjligt att skapa en eller flera virtuella 3D-modeller av ett planerat eller befintligt byggnadsprojekt. När BIM-modellen har färdigställts innehåller den all nödvändig data som behövs för att kunna upprätta byggnadsverket.

En väl utförd modell innehåller dessutom den information som krävs för att kunna simulera byggnadens funktioner ur ett livscykelperspektiv. Med hjälp av dessa modeller kan byggnader av högre kvalitet skapas till en lägre kostnad. Dessutom kan byggnadsverket upprättas med en kortare byggtid, då det redan på förhand kan göras kollisionsskontroller, och undvika att fel av denna karaktär påträffas under produktionstiden. När projekteringen sker med hjälp av 2D-ritningar är ett vanligt förekommande problem att energianalyser och kostnadsberäkningar normalt görs i ett sent skede av projekteringsprocessen. Detta leder ofta till att kompromisser med originaldesignen när kraven för ovan nämnda kriterier inte uppfylls. Vid modellering med BIM-programvara är det möjligt att redan i ett tidigt skede utföra dessa analyser, och således förhålla sig till dem under hela projekteringsskedet (Eastman, Teicholz, Sacks, Liston, 2011 s. 1-4).

Dock är inte alla 3D-modeller per definition en BIM. För att en modell skall definieras som en BIM krävs det att den innehåller alla nödvändiga objektsattribut samt att dimensionsändringar i en vy, även skall återspeglas i övriga vyer (Trimble Solutions Corporation, 2016b).

2.1.2 buildingSMART, BIM Alliance och IFC

buildingSMART är en internationell grupp som jobbar med att utveckla BIM-samarbetet inom byggbranschen. Den svenska motsvarigheten är BIM Alliance som jobbar med samma frågor och även är en del av buildingSMART International (BIM

Alliance, 2015). Gruppen är öppen för alla som vill vara delaktiga och arbetar med utveckling inom ett öppet och standardiserat arbetssätt. Ett av de verktyg som gruppen arbetar med är det öppna filformatet IFC (Industry Foundation Classes). Tanken med IFC-formatet är att erbjuda ett gemensamt filformat, som kan användas information och modeller ska delas mellan olika aktörer och discipliner (BIM Alliance, 2014). Syftet med IFC-formatet är att kunna överbrygga de skillnader som i dag existerar mellan olika företag, där olika programvaror används. Detta filformat ska även hjälpa till att öka programvaruutvecklarnas konkurrensmöjligheter, genom att undvika att en modell är bunden till en specifik programvara (The Linux Information Project, 2006).

2.1.3 FEM – Finita elementmetoden

Finita elementmetoden (FEM, eller FE) är en matematisk metod för att ta fram approximativa lösningar till differentialekvationer. Metoden går kortfattat ut på att söka nollställena till derivatan, men på ett sätt som annars inte går att lösa effektivt med klassiska metoder, då den vanligtvis tillämpas på komplicerade geometrier med svåra randvillkor (Nilsson, 2015).

Den mest karakteristiska egenskapen för metoden, som även gett upphov till dess namn, är att geometrier delas upp i ett stort antal stycken, så kallade finita element. Dessa element är enklare geometriska former, ofta trianglar eller fyrhörningar. Elementen kopplas sedan samman i ett förutbestämt antal knutpunkter som tillsammans med de geometriska formerna bildar ett rutnät, eller en mesh. Tanken är att det ska vara enkelt ska få förståelse för kraftfördelningen i geometrin genom att känna till krafterna i de enskilda knutpunkterna (Nilsson, 2015). Vanligt är att resultatet visualiseras genom att laster och spänningar i byggdelar färgkodas för att få en visuell förståelse för kraftfördelningen i de olika elementen. Den här metoden används extensivt i byggbranschen och det finns ett antal dedikerade FEM-program som är anpassade för hållfasthetsberäkningar på byggnader.

2.2 Programvaror

Det här examensarbetet behandlade kopplingen mellan två programvaror som utvecklats av Trimble. *Tekla Structures* som används för modellering och *Tekla Structural Designer* som används för att utföra konstruktionsberäkningar av en analysmodell. Förutom dessa två används även en plugin vid namn *Tekla Structural Designer Integrator* för export och import mellan de två programvarorna.

2.2.1 Tekla Structures

Tekla Structures är en programvara med stöd för BIM-projektering som används för 3D-modellering inom byggindustrin. Programvaran lanserades 2004 av Tekla Corporation. 2011 köptes Tekla Corporation upp av Trimble och är i dagsläget en del av Trimble Group (Trimble Solutions Corporation, 2016c).

Med hjälp av *Tekla Structures* kan de mest komplexa strukturerna byggas upp i form av en 3D-modell som senare kan användas för att ta fram produktionsritningar, både i 2D och 3D. Detta gör det möjligt att lägga mer tid på att skapa en exakt modell med genomtänkta designlösningar, istället för att lägga tiden på dokumentation. Tekla använder sig av ett öppet API vilket gör att användaren själv kan anpassa

programvaran utefter sina egna specifika önskemål (Trimble Solutions Corporation, 2016d).

I programvaran finns en databas innehållande olika byggdelskomponenter i form av balkar, pelare, plattor, väggar och olika infästningar. I tillägg till detta finns även Tekla Warehouse där det går att ladda ner lösningar från olika tillverkare som alla har kvalitetssäkrats av Trimble.

Med hjälp av det öppna filformatet IFC kan modeller från andra modelleringsprogramvaror importeras. Denna import gör det möjligt, att på ett enkelt sätt samarbeta med arkitekter, konsulter och entreprenörer inom byggbranschen (Trimble Solutions Corporation, 2016d). Till exempel kan arkitektens 3D-modell importeras och utvecklas till en konstruktionsmodell. På detta sätt kan ett mer linjärt arbetsflöde skapas i projekteringsprocessen.

2.2.2 Tekla Structural Designer

Tekla Structural Designer är en programvara för analys och dimensionering av den bärande stommen i en byggnad, utvecklat av Trimble. Än så länge är det bara lanserat i några utvalda länder och på grund av detta finns ingen miljö med svensk anpassning tillgängligt. Enligt Trimble skall en Sverigeanpassning av programvaran vara under utveckling och lanseras inom de närmsta åren. Programvaran är utvecklad för att vara mer automatiserad än andra programvaror på marknaden, det är även heltäckande för att eliminera behovet av flera olika analysprogram. Trimble hävdar även att modeller ska kunna överföras helt sömlöst mellan *Tekla Structural Designer* och kompatibla programvaror så som *Tekla Structures* och *Revit Structures*. Från *Tekla Structures* och *Revit Structures* ska det enkelt gå att exportera modellen, för att senare arbeta vidare med den i *Tekla Structural Designer* där nödvändiga analyser och konstruktionsberäkningar kan utföras. Efter att konstruktionsberäkningar har utförts och stommen har dimensionerats skall det gå att skicka tillbaka ändringar till den programvara där den skapades varpå originalmodellen uppdateras (Trimble Corporation, 2016a).

Analysdelen av programmet fungerar på så sätt att laster och lastkombinationer definieras och placeras i modellen. När detta är gjort bestäms vilka delar av modellen som ska analyseras. Programmet räknar då igenom alla lastkombinationer och visar visuellt vilka delar som inte klarar analysen för att enkelt kunna identifiera underdimensionerade objekt. Efter att analysen utförts är det möjligt att skapa en mängd olika rapporter. Exempel på sådana rapporter är armeringsritningar och listor över de dimensionerande lasterna samt bärförmåga för enskilda objekt. Programvaran kan hantera både statiska beräkningar, FEM-analyser och mer avancerade beräkningar såsom seismiska lastberäkningar.

Om det finns objekt i byggnaden vars dimensioner inte är tillräckliga, går det att använda sig av en funktion som kallas *Autodesign*. *Autodesign* innebär att programmet automatiskt dimensionerar objekten utifrån de rådande lasterna. *Autodesign* dimensionerar inte bara objekt som är underdimensionerade, den kan även optimera de objekt som är överdimensionerade genom att minska dimension på dessa.

2.2.3 Tekla Structural Designer Integrator

Tekla Structural Designer Integrator är en insticksmodul som följer med *Tekla Structures 21.1* och *Tekla Structural Designer 2015i*. TSDI fungerar som länken mellan de två olika programvarorna. Med hjälp av TSDI skapas en .cxl-fil som innehåller all information om modellen och kan läsas av båda programvarorna. Det är också möjligt att i detta verktyg välja om hela modellen eller bara en begränsad del skall exporteras (Trimble Solutions Corporation, 2016e).

Tekla Structural Designer Integrator känner igen olika material och tvärsnitt från TS och konverterar dessa till ekvivalenta TSD-tvärsnitt. Det är också möjligt att i TSDI-vyn förhandsgranska hur TSD konverterar de olika materialen och tvärsnitten. I dagsläget finns inte alla svenska standard-tvärsnitt då TSD ännu inte släppts i Sverige. Om det valda tvärsnittet saknas i TSD kan en .cnv-fil skapas. Denna fil fungerar som en konverteringsfil. I konverteringsfilen är det möjligt att specificera ett likvärdigt material eller tvärsnitt som TSD skall använda sig av (Trimble Solutions Corporation, 2016e).

2.3 Byggprocessen i stora drag

I följande avsnitt kommer först en övergripande beskrivning av de olika stegen i byggprocessen förklaras, detta för att ge en förståelse för vart i kedjan projekteringsarbetet återfinns. Då byggprocessen är mycket komplex och skiljer sig åt mellan olika projekt så presenteras de fyra steg som är återkommande i merparten av alla projekt. Därefter följer en beskrivning av hur projekteringsarbetet ser ut i teorin och slutligen en redogörelse för hur arbetet utförs på ÅF.



Figur 1: Illustration av byggprocessen i fyra steg.

2.3.1 Programskedet

Byggprocessen tar alltid vid när önskemål eller behov av en byggnad har framkommit från en person eller ett företag. Det kan till exempel röra sig om ett företag med behov av en ny fabrikslokal, en stad med behov av en ny skola eller ett bostadsbolag som vill uppföra nya bostäder. Den som planerar att låta starta ett bygge tar då på sig rollen som byggherre för det tilltänka projektet.

I det första skedet av byggprocessen görs ett antal studier och analyser, för att bena ut vilka förutsättningar, möjligheter, mål och risker projektet har. Dessa utredningar syftar till att ge ett underlag för beslut om huruvida projektet ska genomföras eller ej. Ofta läggs även andra alternativ än nybyggnation fram. Ibland går det att köpa eller hyra in sig i befintliga lokaler och andra gånger är nybyggnation det bästa alternativet (Nordstrand, 2008, s. 57-58). När beslut om att fortsätta med projektet är taget används information som hämtats från dessa utredningar till att ta fram ett antal program och handlingar. Programarbetet fortgår sedan kontinuerligt under stora delar av byggprocessen och alltmer detaljerade handlingar produceras ju längre projektet

fortlöp (Stintzing, 2005, s. 270-271). Dessa program och handlingar har som uppgift att definiera ramar för projektet och se till att byggherren får en byggnad med de funktioner som efterfrågats.

2.3.2 Projekteringsskedet

Tidigt under byggprocessen måste byggherren välja vilken typ av entreprenadform projektet ska utföras som. Vilken typ av entreprenad som väljs kan få stora effekter på organisationen kring bygget och bestämmer hur besluts- och ansvarsfördelningen kommer se ut inom projektet (Révai, 2012, s. 14).

När tillräckliga utredningar från programskedet genomförts och det finns tydliga direktiv för vilka förutsättningar och mål som ska uppfyllas börjar arbetet med att definiera egenskaper hos den tänkta byggnaden. Här börjar ett arbete som innefattar en mängd olika kompetenser från olika discipliner inom byggbranschen. Ofta presenteras det tidigt i projekteringsskedet ett eller flera förslag på utformning. Dessa förslag tas fram av en eller flera arkitektbyråer. I detta skede är det upp till byggherren att tillsammans med sakkunniga konsulter och framtida brukare utreda olika alternativ för att välja det mest passande (Nordstrand, 2008, s. 77).

Efter att en lämplig utformning på den tilltänkta byggnaden har valts tar de övriga konsulternas arbete vid. Exempel på konsulter som kopplas in i detta skede kan vara konstruktörer som svarar för byggnadens hållfasthet och konstruktionsmässiga utformning, eller installationstekniker som tillhandahåller lösningar för luftbehandling, vatten och avlopp. Projekteringsprocessen är ofta iterativ då de olika disciplinerna hela tiden påverkas av varandras arbete. Under det här skedet av byggprocessen produceras en stor mängd handlingar som senare kommer att användas som underlag för hur den färdiga byggnaden kommer se ut och fungera (Stintzing, 2005, s. 56). I större projekt är det heller inte ovanligt att det upprättas kompletta virtuella modeller av byggnaden innehållande en mängd olika information, även kallat BIM.

2.3.3 Produktionsskedet

Nästkommmande steg i byggprocessen är produktionen av den byggnad som projekterats i steget innan. Här används de ritningar som tagits fram och färdigställer byggnaden. Under ett väl fungerande projekt behöver inte alla steg i projekteringen vara färdiga innan produktionen kan startas. Det är inte ovanligt att samma entreprenör har ansvar för både projektering och produktion, vilket leder till att både tid och pengar kan sparas. Dock ställer ett sådant arbetssätt högre krav på samtliga inblandande då det hela tiden är nödvändigt att förhålla sig till nya deadlines (Révai, 2005, s. 17).

Produktionen är en väldigt resursintensiv del av byggandet, med resurser menas inte bara material som byggs in i det hus som produceras utan allting som blir en kostnad under byggprocessen. Hit räknas alltså även personal, transporter, maskiner och förbrukningsvaror (Nordstrand, 2008, s.166-168). Under de senaste decennierna har det börjat ställas högre krav, och det har utvecklats en större medvetenhet kring vad valet av resurser får för konsekvenser. Det här har även påverkat byggbranschen, och

det tas idag större hänsyn till den miljöpåverkan som en byggnad utgör, inte bara under produktion utan även under drift (Stintzing, 2005, s. 14-15).

Hela produktionsprocessen genomsyras av att det ställs höga krav på en väl fungerande samordning. På större byggen är det flera olika discipliner inblandade på samma arbetsplats och de flesta moment är beroende av arbeten tidigare i kedjan. Även leveranser och logistik måste planeras långt i förväg och byggnadens etappfördelning är viktig att definiera innan arbetet startar. Här är det viktigt att den tekniska samordning som planerats under projekteringsskedet är ordentligt genomarbetad. Annars finns det risk för förseningar med tillhörande merkostnader under produktionen (Stintzing, 2005, s. 62-64).

2.3.4 Driftskedet

Det slutgiltiga skedet starar oftast då byggnaden är klar och ska tas i bruk, men det finns även fall där delar av byggnaden tas i bruk innan hela projektet är klart. Byggnadens tekniska system går i detta skede igenom ett antal slutgiltiga utvärderingar där korrekt funktion på till exempel vattenförsörjning, uppvärmning och luftbehandling testas (Stintzing, 2005, s. 65-67). Sist görs en slutbesiktning och byggnaden lämnas sedan över till byggherren som då kan ta den i bruk.

2.4 Projekteringen på ÅF

I följande avsnitt redovisas två intervjuer som utfördes på ÅF den 5:e februari, 2016 respektive den 3 Maj 2016. Den första respondenten heter Lisa Beckman och jobbar huvudsakligen som konstruktör i projekt på ÅF. Respondent nummer två heter Keyvan Zeidi och jobbar huvudsakligen som projektör i projekt på ÅF. Frågorna under de två intervjuerna varierade.

2.4.1 Projekteringen på ÅF enligt Lisa Beckman

För att få en ökad förståelse för hur projekteringsarbetet fortgår på ÅF's husbyggnadsavdelning gjordes en intervju med Lisa Beckman. Lisa har jobbat som konstruktör sedan 2013 då hon tog sin Civilingenjörsexamen inom Väg- och Vattenbyggnad, på *Chalmers Tekniska högskola*.

Underlaget som tillhandahålls ÅF kommer i de flesta fall från en arkitekt, som i ett tidigare skede utformat byggnaden. Vad det är för typ av underlag som tillhandahålls varierar med projektets storlek och upplägg. I större projekt är underlaget ofta 3D-modeller, medan det i mindre projekt kan röra sig om *AutoCAD*-ritningar i 2D eller avsaknad av underlag. Om underlag från arkitekt fås i rätt format går det att arbeta vidare med, men då A-modellen inte innehåller någon stomme används den mest som referens för framtagning och måttsättning av stommen (Beckman, 2016).

Arbets sättet för en ingenjör på ÅF varierar mellan olika projekt beroende på storlek och omfattning. Ingenjörens arbete innefattar i stora drag två olika moment. Antingen jobbar en som projektör och har fokus på modellering och ritningsframtagning eller så arbetar en som konstruktör och utför beräkningar och dimensioneringar av byggnaden. Den tidigare avdelningschefens åsikt var att oavsett inriktning och spetskompetens, så var det viktigt att ha förståelse för andras arbetssätt. Med

anledning av detta är det inte ovanligt att konstruktören och projektören byter roll mellan olika projekt. Det är heller inte ovanligt att samma person fyller båda funktionerna på mindre projekt (Beckman, 2016).

När en eller flera personer ska utföra olika moment som rör samma projekt krävs att arbetet utförs i ett flertal olika programvaror som idag inte är fullt kompatibla. Att projektering och konstruktionsberäkningar utförs av två olika personer leder till att information om projektändringar måste överföras muntligt eller skriftligt via mail, detta utgör i sin tur en risk då information kan gå förlorad (Beckman, 2016).

För att producera ritningar använder ÅF idag *Tekla Structures*, *Revit Structure* och *AutoCAD*. För att göra beräkningar och dimensionering används främst *FEM-Design Plate* och *WIN-Statik*. Det finns även en beräkningsgrupp på ÅF med tillgång till mer avancerade program för FEM-analyser. Med ritnings- och analysprogram, som kommer från olika tillverkare, har ÅF ännu inte lyckats hitta ett arbetssätt som gör det möjligt att på ett korrekt och kvalitetssäkert sätt exportera sin befintliga 3D-modell, för att senare importera den som en analysmodell i beräkningsprogramvaran. Resultatet av detta är att det för varje byggnad som projekteras måste upprättas en ritningsmodell i modelleringsprogramvaran, följt av en analysmodell i beräkningsprogramvaran. Det finns vissa verktyg som gör det möjligt att överföra information mellan olika programvaror, men detta fungerar sällan tillfredställande och det går inte att lita på att all information överförs på ett korrekt sätt. I dagsläget används mest exporten till att överföra geometrier (Beckman, 2016).

2.4.2 Projekteringen på ÅF enligt Keyvan Zeidi

För att bygga på förståelsen för hur projekteringsarbetet fortgår på ÅF's husbyggnadsavdelning gjordes ännu en intervju, denna gång med Keyvan Zeidi. Keyvan har jobbat som projektör sedan 2007 då han tog sin byggingenjörsexamen, på *Chalmers Tekniska högskola*.

När ett nytt projekt tar vid inleds det med en förstudie. Förstudien är till för att utvärdera hur den bärande konstruktionen skulle kunna tänkas se ut och fungera. Det bestäms även i detta skede huruvida arbetet med byggnationen skall fortlöpa. Huruvida ÅF är inkopplade i detta inledande skede varierar mellan olika projekt. När ÅF har erhållit jobbet fortskrider arbetet med nästa fas. Denna fas kallas för systemhandling. Under systemhandlingsskedet skall det bärande systemet bestämmas. I det här skedet läses bland annat pelarlinjer och vindkryss. Efter systemhandlingsskedet kan mindre flyttar av enstaka pelare förekomma, men de stora förändringarna skall redan vara gjorda. I nästa skede skapas ett förfrågningsunderlag, vilket är det som skickas ut till entreprenören som underlag för anbud (Zeidi, 2016).

Vid utförande av en totalentreprenad skall modellen vara tillräckligt korrekt för att entreprenören skall kunna mängda, och räkna på jobbet för att senare lämna ett pris. Det viktiga är att det rent visuellt ser korrekt ut och att mängden stål och volymen betong är relativt korrekt, samt att det blir snygga ritningar i plan och sektion. Vid en totalentreprenad skrivs inte dimensioner på pelare och balkar ut, utan enbart vad för slags pelare eller balk det rör sig om, till exempel *SP* för stålpelare. De måttsättningar som återfinns på plan- och sektionsritningar vid en totalentreprenad är enbart

stomlinjemått och plushöjder. Därför måttsätts inte balk- och pelarlängder (Zeidi, 2016).

Det som skiljer sig vid en generalentreprenad är att förfrågningsunderlaget även skall kunna stämplas om som bygghandlingar. I övrigt ser projekteringsprocessen ut på samma sätt. Därför ställs högre krav på modelleringen vid en generalentreprenad än vid en totalentreprenad. I en modell som skall användas som underlag till bygghandlingar skall mycket mer information in i varje objekt. Vad som skall finnas med beror på vilka krav beställaren har men det kan röra sig om information gällande när det skall monteras och byggas. Det är även viktigt att olika komponenter i modellen har rätt namn och rätt klass, eller att rätt *assemblies* har använts då även tillverkningsritningar skall genereras. Vid en generalentreprenad skall alla exakta måttangivelser finnas med på alla ritningar (Zeidi, 2016).

Användandet av BIM varierar med olika projekt då olika beställare har olika CAD-manualer som beskriver vilken information som behöver finnas för varje unikt objekt. Det är inte alla beställare som har sådana krav. Ett exempel är Göteborgs stad som har ”3D-krav”. Detta på grund av att 3D-modellen enbart används för att utföra kollisionsskontroller och inte används under byggnationen. Kollisionsskontroller används främst för att hitta krockar och fel under projekteringsskedet för att undvika att dylika problem uppstår ute i produktionen (Zeidi, 2016).

På ÅF finns det även tillgång till en CAD-manual, både för *Tekla Structures* och för *AutoCAD*, CAD-manualen är framtagen av avdelningen för husbyggnad. CAD-manualen beskriver hur en modell startas, och ger användaren numreringsrekommendationer i termer av klass och namn för olika objekt. Dock finns det inget rekommenderat modelleringssätt i CAD-manualen, detta är alltså upp till projektören att avgöra beroende på vad som passar personen i fråga bäst (Zeidi, 2016).

I ett projekt läggs c:a 1-5% av modelleringstiden på att upprätta en analysmodell, medan resten av tiden läggs på 3D-modellen. I ett stort projekt utgör inte upprättandet av analysmodellen en heltidstjänst vilket leder till att beräkningsingenjören ofta är inblandad i ett flertal olika projekt. När analysmodellen väl har upprättats så brukar den kontrolleras 1 gång per vecka för att se så att allt stämmer. Eftersom det är mycket ändringar i ett projekt hade ett smidigt alternativt vara att sömlöst överföra modellen fram och tillbaka mellan analys- och modelleringsprogramvaran (Zeidi, 2016).

2.4.3 Tidigare examensarbeten

Tidigare har två examensarbeten utförts på ÅF(tidigare Reinertsen) som har behandlat kopplingen mellan *Tekla Structures* och olika analysprogramvaror. 2012 utförde Martin Nilsson och Martin Svennered ett examensarbete, vid namn ”Integrerad arbetsprocess mellan projektör och konstruktör”. Detta examensarbete undersökte kopplingen mellan *Tekla Structures* och analysprogramvaran *SAP2000*.

I sin slutsats skriver Nilsson & Svennered (2012, s. 87) att ”... informationsutbytet inte var likvärdigt i båda riktningarna.”. Ett problem som uppstod i samband med

överföringen mellan *Tekla Structures* och *SAP2000* var att mer information kunde överföras från Tekla till SAP2000 än vad som kunde överföras i andra riktningen. Till exempel försvann avkortningar och förskjutningar när information skulle överföras från *SAP2000* till *Tekla Structures* (Nilson & Svennered, 2012).

Vidare diskuterar Nilson & Svennered (2012, s. 87) hur en automation av projekterings- och beräkningsarbetet inte enbart bidrar till en kvalitetssäker och effektiv projektering, utan även innebär risker för kvalitetssäkerheten. Detta på grund av att vissa systemkomponenter fick förändrade dimensioner och kapacitet, vid överföringen från *SAP2000* till *Tekla Structures*, utan att dess nya kapacitet hade verifierats.

Även Lisa Beckman och Gabriella Milveden (2013) har skrivit ett examensarbete som behandlade kopplingen mellan *SAP2000* och *Tekla Structures*. Ett problem som Beckman och Milveden (2013, s. 64) tar upp är hur de olika programvarorna måste vara installerade på samma dator för att kopplingen skall kunna fungera. Detta leder i sin tur till att arbetet begränsas till att utföras av enbart en person.

Beckman och Milveden (2013, s. 45) diskuterar även problemet med att håltagningar i väggar och plattor inte överförs mellan *Tekla Structures* och *SAP2000*. Något som begränsar användningen då de flest konstruktioner innehåller håltagningar för fönster, dörrar och installationer.

3 Resultat av fallstudie

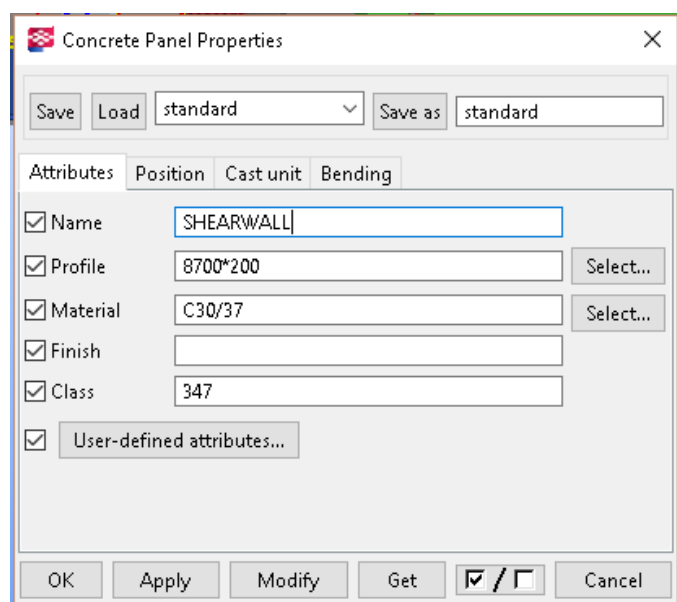
I detta kapitel presenteras de resultat som framkommit av fallstudien. I detta kapitel förutsätts läsaren besitta vissa förkunskaper i programvarorna Tekla Structures och Tekla Structural Designer. För en genomgång av programvarorna samt dess funktioner, se Appendix I. Kapitlet består av tre delar. Första delen behandlar allmänna begränsningar som är viktiga att förhålla sig till vid projektering. Den andra delen redovisar ett rekommenderat arbetssätt utifrån programvarornas begränsningar. Avslutningsvis redovisas två sätt att modellera på ÅF, och hur man kan utnyttja kopplingen utifrån dessa två arbetssätt.

3.1 Allmänna rekommendationer och begränsningar

I följande avsnitt behandlas vissa generella principer som är gemensamma oavsett vilken metod som används när en modell skapas. Vissa av dessa steg i modelleringsprocessen är nödvändiga för att få en fungerande koppling mellan programvarorna, medan vissa är rekommendationer eller begränsningar som behöver beaktas om arbetet ska fungera smidigt.

3.1.1 Namngivning av objekt

För att vissa objekt ska överföras korrekt mellan TS och TSD krävs det att de namnges enligt vissa principer. För merparten av objekten har namnet ingen betydelse men två vanligt förekommande objekt där namnet spelar stor roll är betongväggar och snedstag. För att objekten ska erhålla rätt egenskaper i TSD efter export måste väggar döpas om till "SHEARWALL" (Figur 2) och snedstag måste döpas om till "BRACE".



Figur 2: Namn och numrering av objekt.

Efter att en modell har exporterats till TSD och sedan återimporterats till TS, kommer TSD ha ändrat namn på alla ingående objekt såvida de inte korrelerar med TSD's standardnamngivning. Detta leder till att namnet på varje unikt objekt kan komma att behöva ändras efter att modellen har återimporterats i TS. Trimble har blivit

uppmärksammade på detta och kommer förhoppningsvis att ha ändrat detta vid en Sverigeanpassning av programvaran.

3.1.2 Håltagningar i betong

Håltagningar som gjorts med antimateria i TS följer inte med vid export. Finns det håltagningar i plattor eller väggar måste dessa skapas på nytt när modellen är importerad i TSD. Det finns två olika verktyg i TSD för att skapa håltagningar, ett anpassat för plattor och ett anpassat för väggar. Vidare följer dessa håltagningar som skapats i TSD inte med när modellen exporteras tillbaka till TS.

3.1.3 Armering av betong

Armering som lagts in i modellen i TS kommer inte att överföras vid export. Det går att definiera armeringsmängder för betongelement i TSD. Det finns dock ingen koppling mellan den armering som modelleras i TS och den armering som definierats i TSD. Armeringsritningar i 2D kan skapas i TSD. Dessa kan användas som underlag för armering av betongtvärsnitt i TS.

3.1.4 Modellerings med trä

Att modellera med trä är ett alternativ som finns både i TS, och i TSD. Dock definieras inte träobjekten på samma sätt i TS och TSD. Lösningen på detta är att en cnv-fil skapas för att TSD ska tolka träobjekten som modellerats i TS på ett korrekt sätt. TSD behandlar enbart analys av träobjekten och möjligheten till att autodimensionera dessa finns inte. Därav finns inte mycket användning av trämodelleringsverktyget, då det enbart kan användas för att räkna ner lasterna i konstruktionen. All dimensionering av tvärsnitt kommer behöva göras manuellt. Med anledning av detta behandlas inte modellering med trä i följande avsnitt.

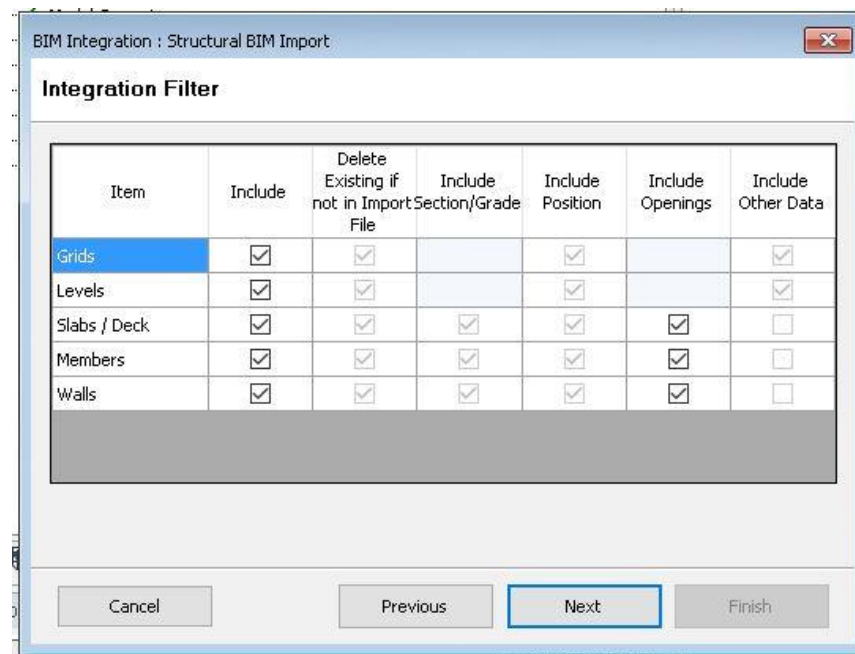
3.1.5 Stomlinjenät och construction lines

En rekommendation för att kunna arbeta på ett så sömlöst och kvalitetssäkert sätt som möjligt är att använda sig av ett stomlinjenät. Vid behov kan stomlinjenätet kompletteras med enstaka stomlinjer (*grid lines*). Det är även möjligt att använda sig av *construction lines* för att underlätta modelleringen. *Construction lines* är hjälplinjer som kan användas som ett komplement till stomlinjer. Till skillnad från stomlinjer följer inte *construction lines* med vid överföringen mellan programvarorna och bör därför undvikas.

3.1.6 Begränsningar vid export

I tidigare stycken redovisas vad som inte följer med vid export och import. För att tydliggöra vad som faktiskt följer med och dessutom är användbart vid analys kommer här en kort redogörelse. Enligt Figur 3 följer följande med: *Grids* (Stomlinjer), *Levels* (Våningsplan), *Slabs/Decks* (Bjälklag och plattor), *Members* (delar) och *Walls* (Väggar). De flesta av nämnda objekt som följer med är relativt entydiga med undantag från just *Members*. Under den här kategorin faller allt som inte kan kategoriseras som något av de övrigt nämnda objekten. Det TSD syftar till med *Members* är pelare, balkar och snedstag. Dock kommer TSD att tolka allt som

inte passar in under de övriga kategorierna som *Members*. Dessa objekt kommer alltså att redovisas som pelare, balkar eller snedstag i TSD. Därför bör alla ingående objekt utöver pelare, balkar, snedstag, bjälklag och väggar sorteras bort vid en export från TS till TSD.



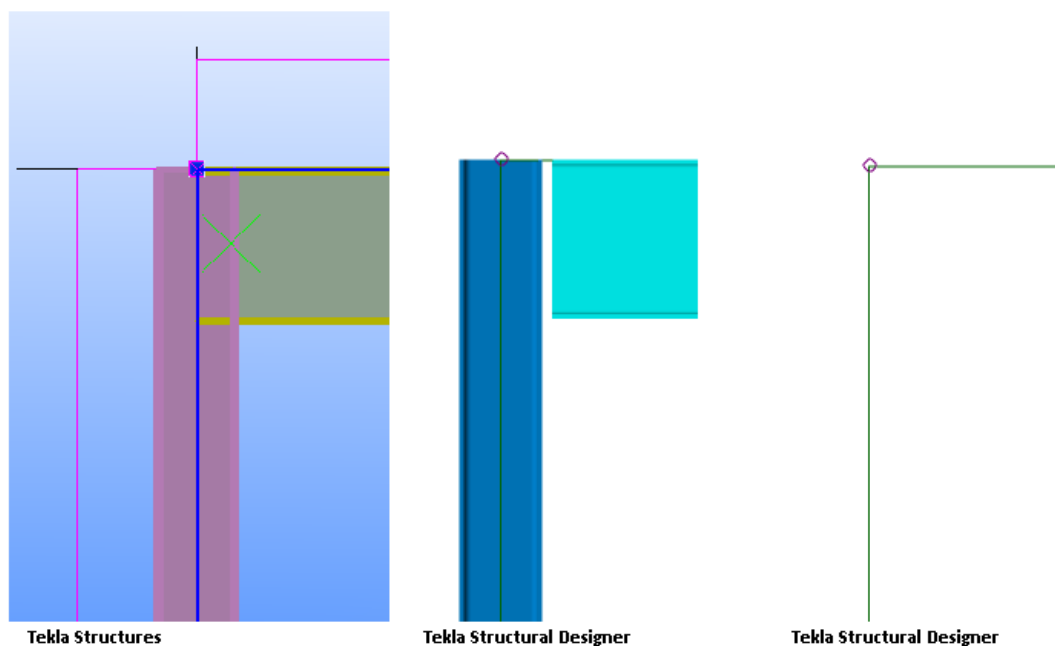
Figur 3: Dialogruta vid import.

3.1.7 Analyslinjer

Hur TSD skapar analyslinjer för pelare och balkar varierar beroende på vilket material objektet består av.

3.1.7.1 Analyslinjer för stål

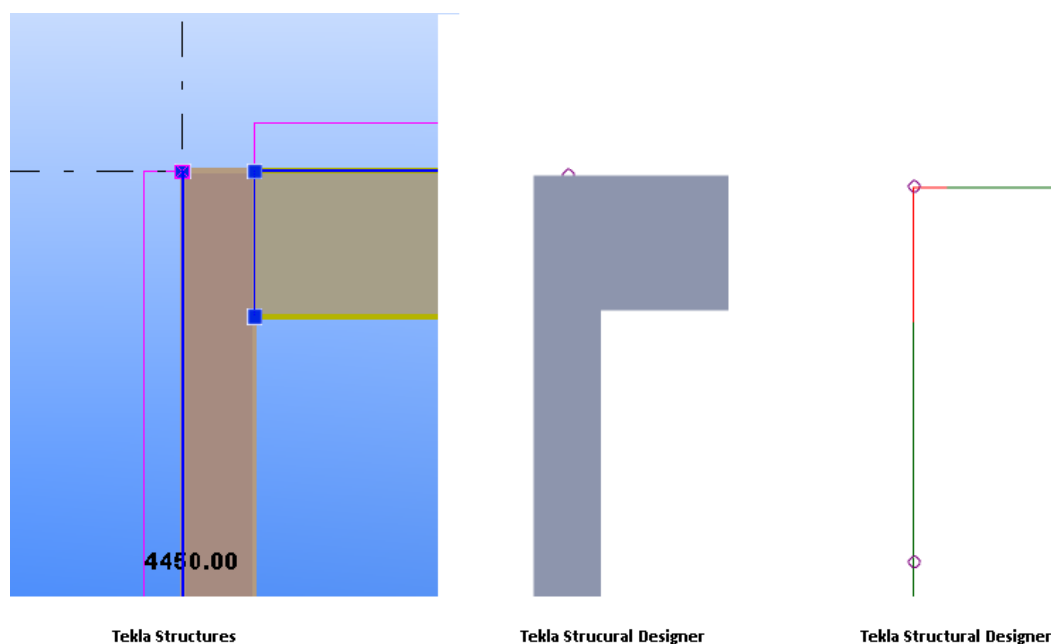
Analyslinjer för stål utgår ifrån handtagen. Det har alltså stor betydelse hur objekten har placerats i TS. Om handtagen kopplats i TS kommer en korrekt analysmodell skapas i TSD. Det finns för stål inga toleranser för automatisk koppling av närliggande analyslinjer. I Figur 4 visas hur analyslinjer skapas efter handtagen som är de blå linjerna längst till vänster i bild.



Figur 4: Analyslinjer och handtagen de utgår från, för stål.

3.1.7.2 Analyslinjer för betong

Analyslinjer för betong utgår från pelarens centrum. För balkar placeras den centriskt i horisontalled medan den i vertikalled utgår från handtagens positionering. För betongobjekt finns vissa toleranser avseende koppling av närliggande analyslinjer. De automatiska toleranserna kan dock koppla på ett ofördelaktigt sätt, vilket i sin tur leder till att betongkonstruktioner inte går att laga i de fall analyslinjerna kopplat på ett felaktigt eller konstigt sätt. I Figur 5 visas hur handtagen i TS inte överensstämmer med analyslinjerna i TSD.



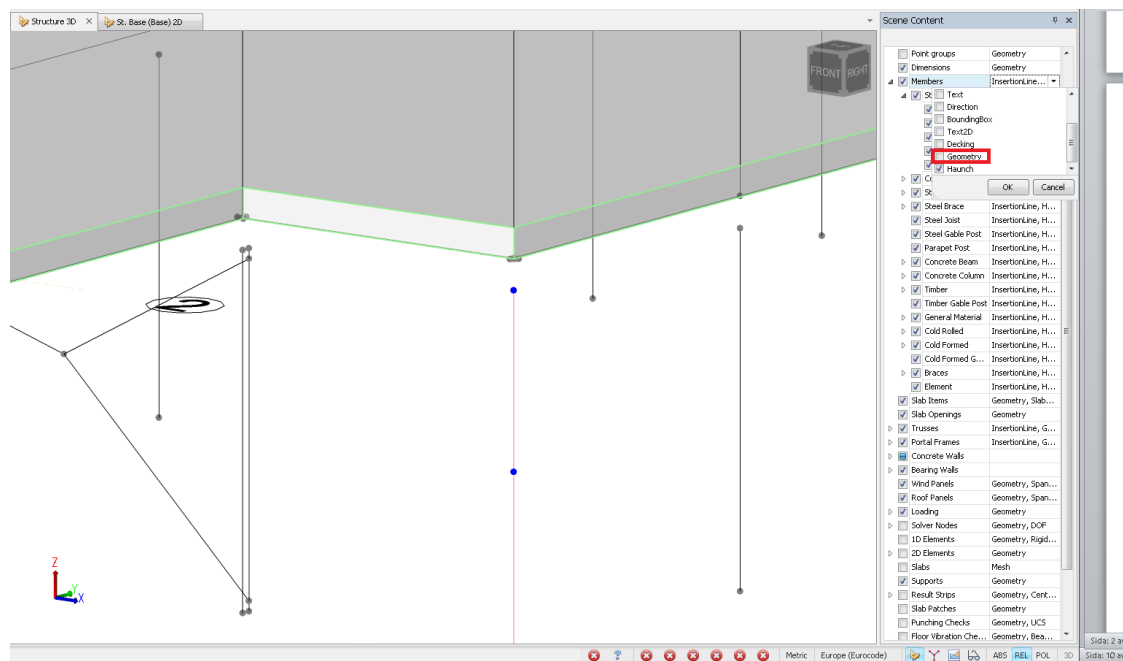
Figur 5: Analyslinjer och handtagen de utgår från, för betong.

3.1.8 Verktöget Autodesign

Verktöget *Auto-Design* kan användas för att TSD automatiskt skall dimensionera ingående objekt, och optimera tvärsnittet för stål. När autodesign används finns det möjlighet att på förhand definiera vilka tvärsnitt programvaran kan välja mellan för stålobjekt samt vilken armeringsmängd programvaran skall utgå från för betongtvärsnitt. För betongtvärsnitt däremot påverkar *auto-designen* enbart armeringsmängden. Detta leder till att betongobjektens tvärsnitt manuellt måste optimeras.

3.1.9 Att laga en trasig analysmodell i TSD

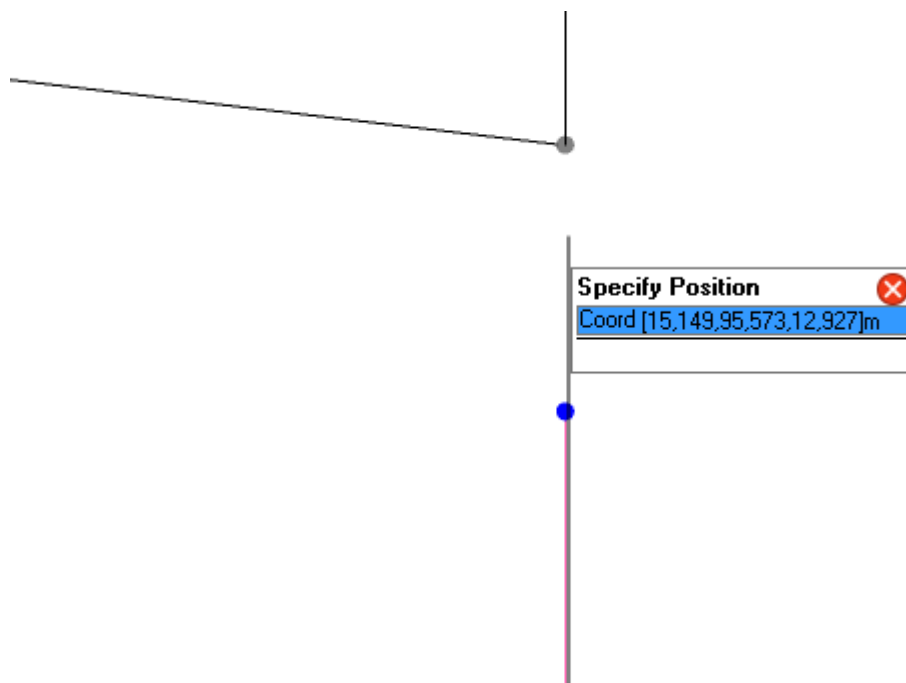
I de fall en modell importerats i TSD och analyslinjerna inte har kopplats behöver analysmodellen lagas. Detta kan enbart göras i *structures-vyn*. För att underlätta arbetet bör då objektens geometrier släckas ned vilket kan göras under *Scene Content* (Figur 6). När detta har gjorts visas en *wireframe-vy*. De linjer som redovisas i denna vy skall inte misstas för analyslinjer. Det är nämligen de olika objekts handtag som redovisas. Resultatet av detta förenklar möjligheten till att laga trasiga stålmodeller då analyslinjerna för stål motsvarar handtagen. För betong däremot, där analyslinjerna och handtagen inte alltid korrelerar, kan denna metod inte alltid användas för att laga en trasig modell. Betong bör därför modelleras så pass korrekt i TS att TSD kan koppla ihop analyslinjerna själv med hjälp av toleranser.



Figur 6: Analysmodell med geometriska objekt dolda i vyn.

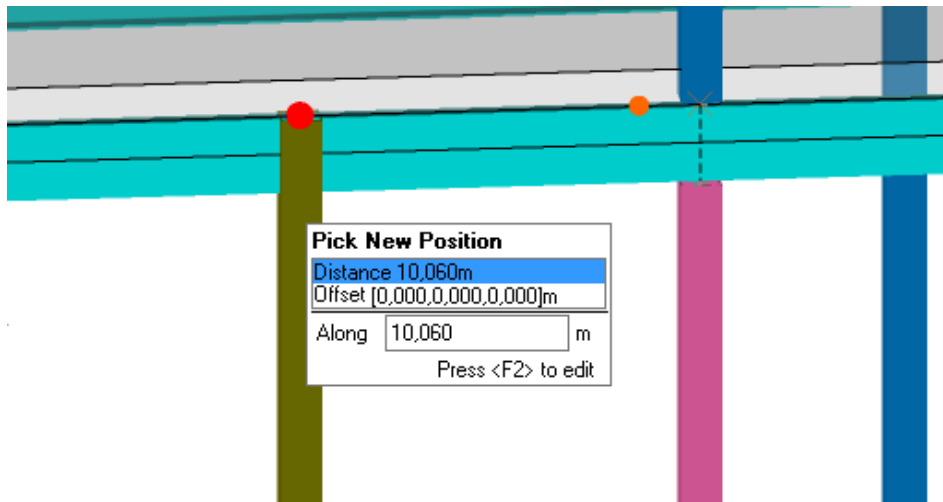
När en modell ska lagas efter import från TS så finns det ett antal kommandon och tillvägagångssätt för att nå önskad effekt. Det första som behöver göras är att se till så samtliga analyslinjer kopplar samman. Om det endast handlar om förlängning av balkar och pelare så är det effektivaste sättet att enbart ta tag i noden och flytta den till rätt läge där den kopplar. Detta görs genom att först markera objektet som ska förlängas så att noderna blir synliga, sedan klickas en gång på den noden som ska

flyttas för att därefter flytta muspekaren till den position där noden ska fästa för att avslutningsvis klicka en sista gång. Denna metod illustreras i Figur 7. Samma metod går även att använda för att förkorta ett objekt om så önskas. Det är inte rekommenderat att flytta noder i mer än ett led (x, y eller z) då detta kommer skapa snedställda balkar och pelare.



Figur 7: Markering och flytt av nod.

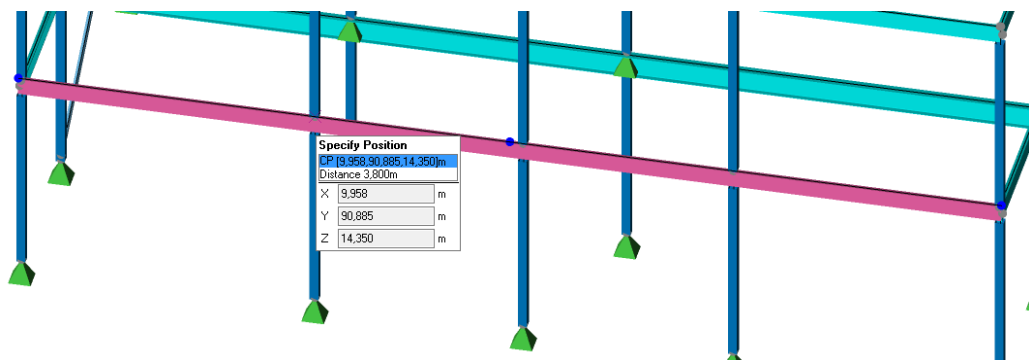
I de fall där balkar och pelare inte är placerade i ett läge så det enbart går att förlänga dessa för att koppla ihop analysmodellen så kan även objekt behöva flyttas innan noderna kopplas samman. Detta går att göra med kommandot *Move*, under fliken *Edit* i TSD. Efter att verktyget har valts, väljs utgångsläge för flytten, för att sedan flytta den till önskad punkt, detta visas i Figur 8. En faktor som kan ge upphov till problem vid användning av detta kommando är att det inte går att flytta objekt utan att de fäster mot något. Det är därför viktigt att det på förhand definierats någon typ av referens, till exempel ett stomlinjenät, för att säkerställa att objektet fäster mot rätt punkt när det ska flyttas. I Figur 8 blir detta tydligt då pelaren har flyttats från underkant av balken till överkant, då det inte finns någon analyslinje att fästa mot i underkanten. Används inte referenser finns det en risk att balken efter flytt kommer ligga förskjuten i höjdlängd utan att det uppmärksammas.



Figur 8: Flytt av befintligt objekt, noden fäster mot överkant balk. Grön pelare är flyttad, rosa pelare befinner sig i originalposition.

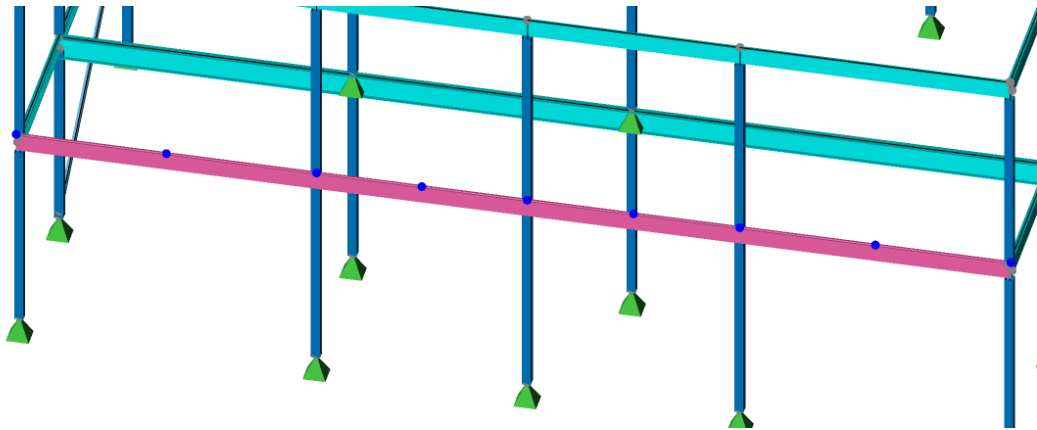
Har modellen som importerats skapats med kontinuerliga balkar så kommer dess noder behöva ändras för att en korrekt analys utan varningar ska erhållas i TSD. I Figur 9 visas en kontinuerlig balk innan den rättas i TSD. Som bilden visar finns det endast en nod i mitten av balken. Detta resulterar i att balken inte får stöd från pelarna och måste därför korrigeras.

På ett liknande sätt som balkar och pelare kan förlängas genom att noder flyttas så kan egenskaperna för hur en balk spänner över flera fack ändras. För att göra detta markeras först balken, därefter markeras mittennoden, för att sedan placeras där balken möter en pelare (Figur 9).



Figur 9: Kontinuerlig balk innan den lagats.

Detta repeteras sedan för samtliga fack tills det finns noder i samtliga pelar-balkintersektioner (Figur 10). För ett objekt som är korrekt modellerat finns det en nod i varje ända av objektet, en i mitten av varje fack, samt en i varje intersektion.



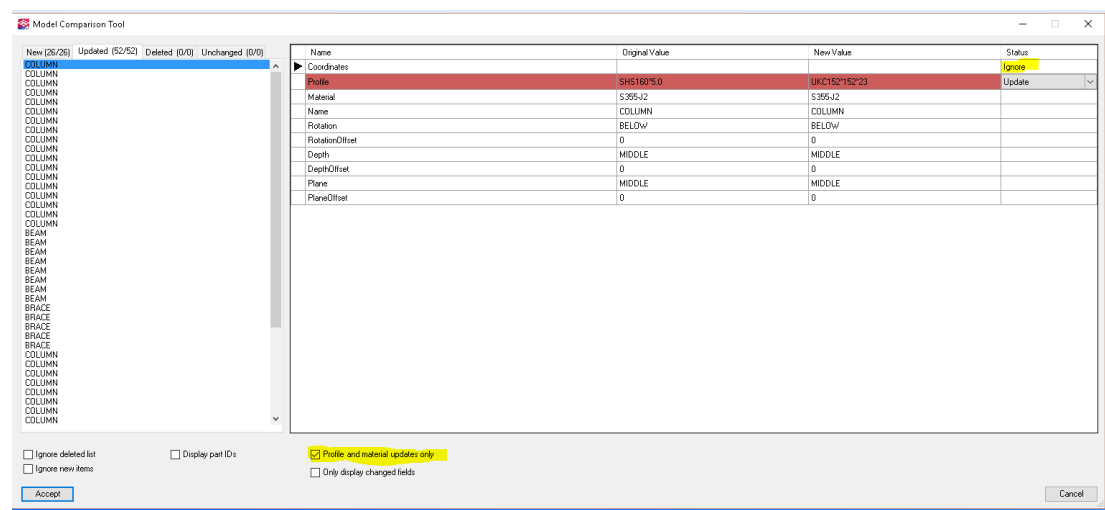
Figur 10: Kontinuerlig balk efter den lagats.

Efter att modellen är lagad och klar bör den sparas för att det skall vara möjligt att göra uppdateringar i modellen senare.

3.1.10 Export och import av en lagad modell

När en modell har lagats är det viktigt att förhålla sig till vissa regler under import och export. Om inte dessa regler följs finns det risk för att den lagade modellen blir trasig och att handpåläggningen måste upprepas i värsta fall.

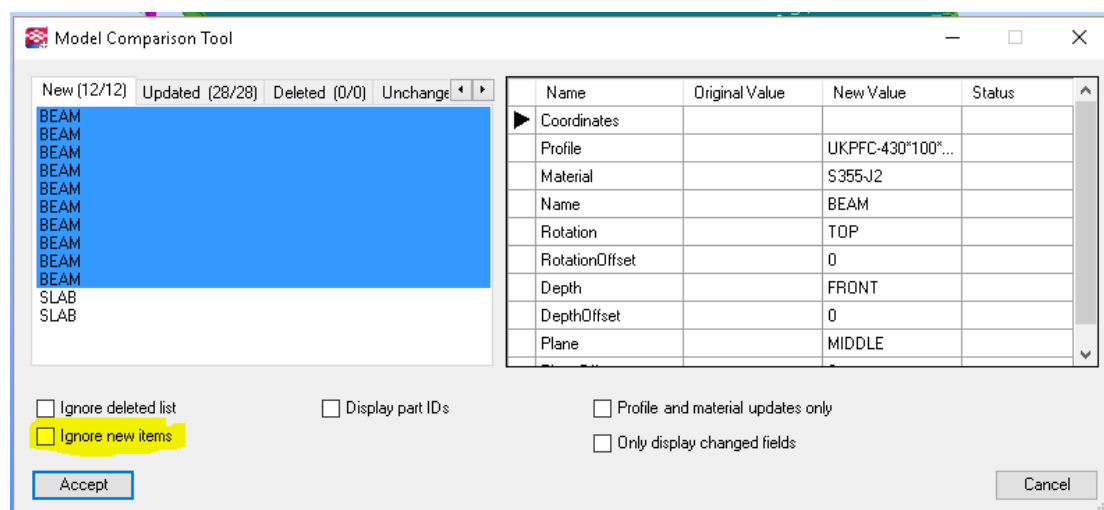
Vid återimport till TS visas en lista över nya objekt som tillkommit, samt objekt som förändrats. Det är nu viktigt att bocka i *Profile and material updates only* (Figur 11). Detta leder till att det enda som uppdateras vid återimport till TS är tvärsnitt och materialförändringar. De positioneringsändringar som utförts i TSD kommer med andra ord inte att uppdateras i TS-modellen.



Figur 11: Dialogruta vid återimport från TSD till TS, kommandot "Profile and material updates only" markerat.

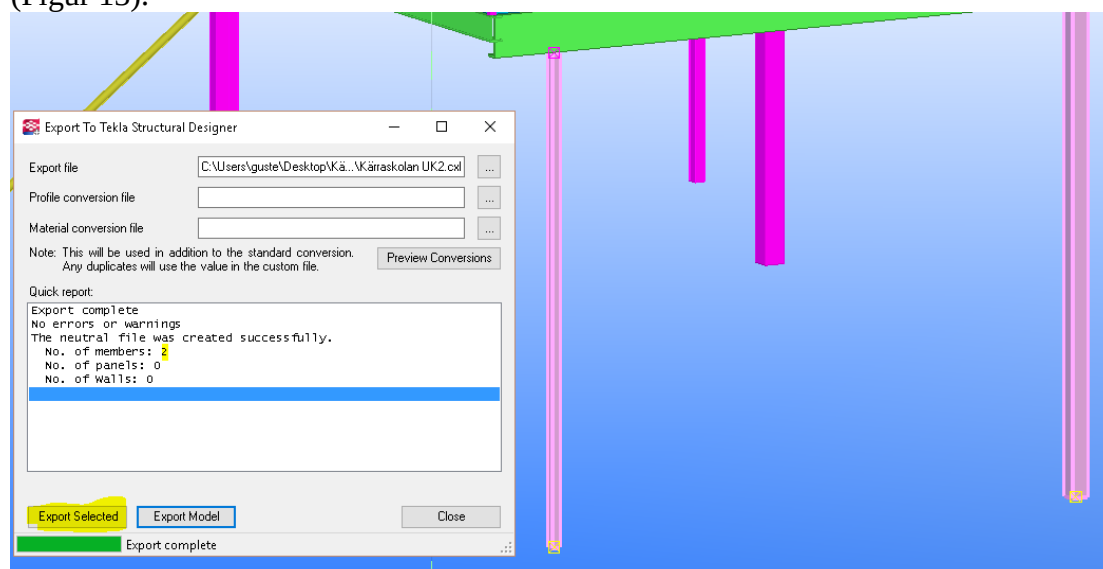
Ett problem som följer av att de kontinuerliga balkarnas noder flyttades vid reparation av modellen är att TS nu skapar nya, enkelspända balkar i de fack där noder har definierats. Detta skulle kunna undvikas genom att bocka i *Ignore new items*, förutsatt att inget avsiktligt har modellerats i TSD (Figur 12). Dock fungerar inte detta

kommando i den version av programmet som använts och dessa objekt måste därför tas bort manuellt efter återimport till TS. Denna process kommer behöva utföras varje gång modellen återimporteras i TS.



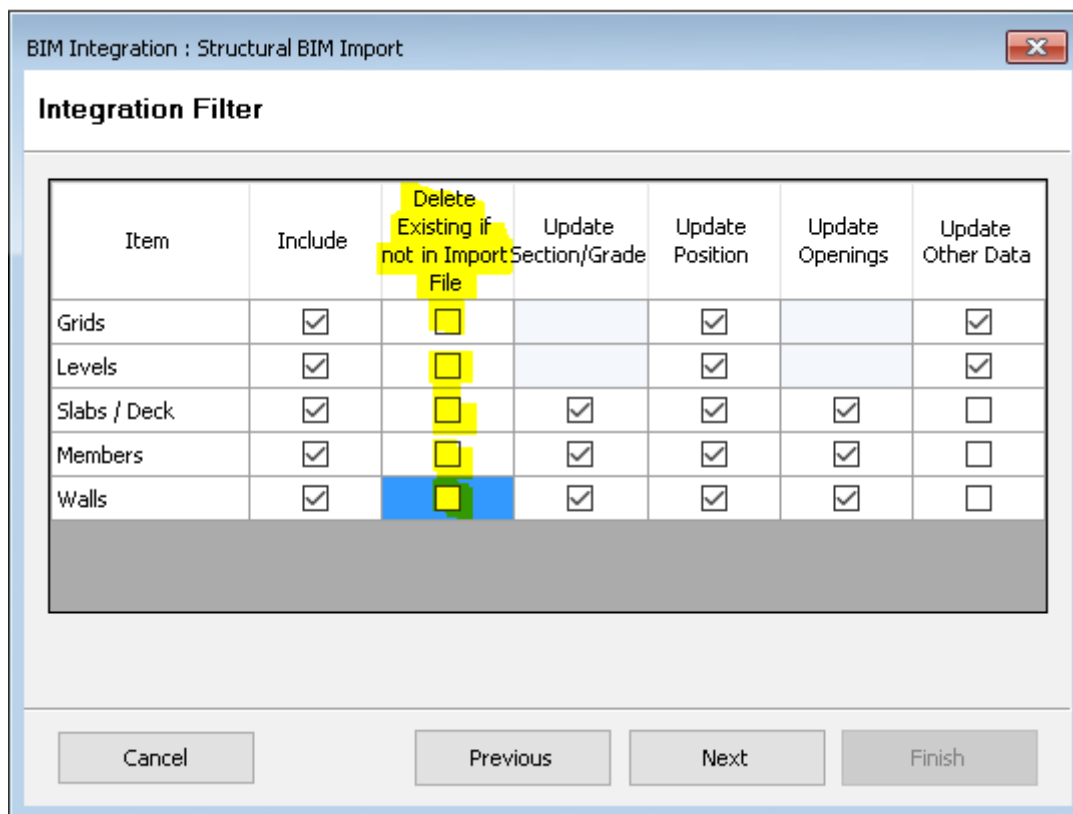
Figur 12: Dialogruta som visar kommandot "Ignore new items" samt de balkar som skapats efter lagning av analysmodell.

Om ett objekt behöver flyttas efter detta skede, gör detta i TS. För att exportera de flyttade objekten markeras dessa, varpå *Export Selected* väljs i dialogrutan för export (Figur 13).



Figur 13: Val vid export från TS, kommandot "Export Selected" markerat.

När dessa förändringar senare skall importeras i den lagade TSD-modellen väljs alternativet *Update existing model*. I nästa dialogruta bockas sedan alla rutor under *Delete Existing if not in Import File* ur, för att undvika att objekt försvinner vid import (Figur 14). De nya objekten kommer nu att förflyttas i analysmodellen, och handpålläggning i termer av reparation för de förflyttade objekten kommer behöva utföras. I övrigt kommer den lagade modellen att förbli intakt.



Figur 14: Val vid import till TSD med kommandot "Delete Existing if not in Import File" markerat.

Om tvärsnittsdimensioner ändrats, eller nya objekt lagts till i TS, kan hela modellen exporteras till TSD. Det är då viktigt att bocka ur *Update Position* för alla ingående objekt. Om detta inte görs kommer det resultera i att den lagade analysmodellen blir trasig igen.

3.2 Rekommenderat arbetssätt

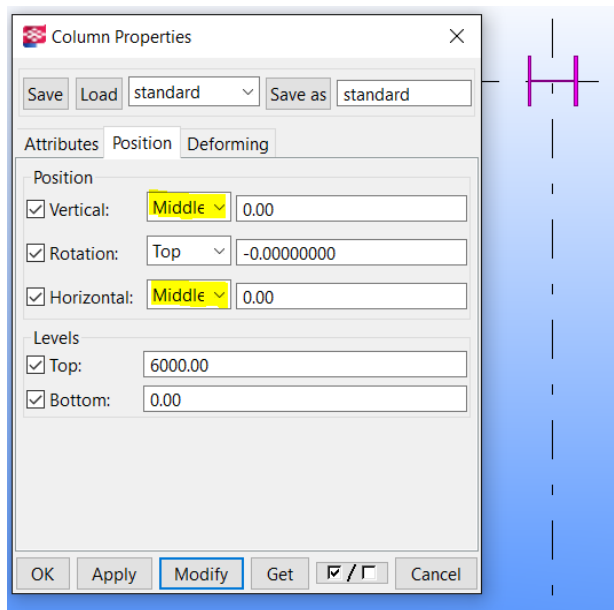
Det som skiljer sig mellan modellering med stål och betong är att det för betong finns toleranser för analyslinjerna i TSD. Då två betongobjekts geometrier möter varandra kommer deras analyslinjer att kopplas samman. Detta leder i sin tur till att betong, i motsats till stål, kan modelleras utan att dess centrumlinjer och handtag möts. Dock kommer en sådan modelleringsteknik att ge upphov till senare problem som beror på att TSD's autodimensioneringsverktyg inte dimensionerar betongens tvärsnitt, utan bara armeringsmängden. I det fall då en betongpelares tvärsnitt manuellt behöver minskas i dimension kommer dess analyslinjer inte längre att koppla. Med anledning av detta rekommenderas att stål- och betongkonstruktioner modelleras på identiskt sätt i TS för att undvika ytterligare handpåläggning i dimensioneringsprocessen. Därav redovisas enbart stål i följande avsnitt, men samma modelleringssprincip kan tillämpas på betong.

3.2.1 Utsättning av objekt i TS

För att uppnå en så god koppling som möjligt mellan TS och TSD bör modellering ske på följande sätt. Vid all form av modellering i TS bör arbetet börja med att ett stomlinjenät sätts ut och att korrekta plan definieras. Görs detta korrekt kommer senare arbete att underlättas.

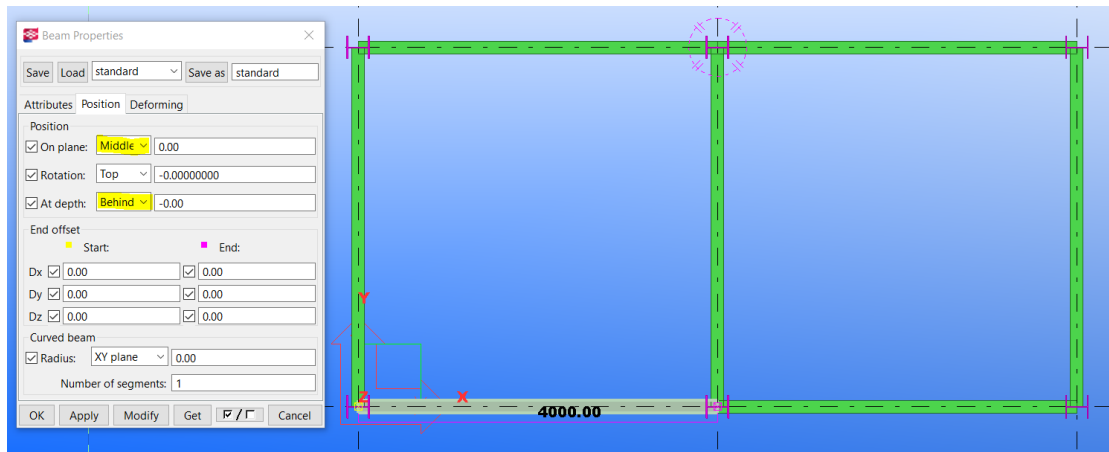
Efter att ett stomlinjenät och ingående våningsplan har definierats är det dags att börja placera ut de ingående objekten. För att en korrekt export till TSD skall uppnås är det av stor vikt hur olika objekt sätts ut avseende positionering.

Pelare ska sättas ut med positioneringsinställningarna *Middle* både i vertikal- och horisontalld (Figur 15). Hur rotationen är inställd spelar i detta läge ingen roll och kan därför ställas in fritt beroende på hur pelaren skall roteras.



Figur 15: Positionering av pelare.

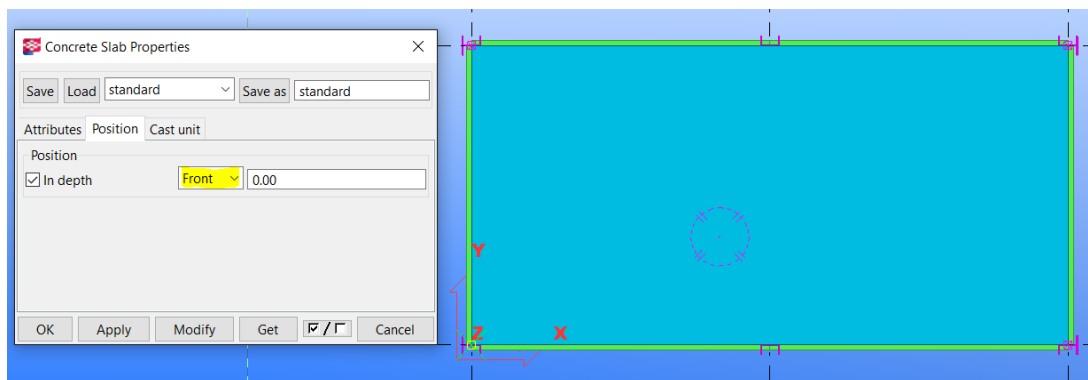
Vid utsättning av balkar ska positioneringsinställningarna vara *Middle* i planet och *Behind* i djupet (Figur 16). Även här kan rotationsinställningarna modifieras vid behov då det inte påverkar handtagens positionering i förhållande till balken. För att handtagen skall fästa i varandra dras balkarna mellan pelarcentrum.



Figur 16: Positionering av balkar.

En rekommendation vid utsättning av balkar är att undvika modellering av kontinuerliga balkar i TS. Anledningen till detta är att TSD inte kommer tolka de kontinuerliga balkarna korrekt och att extraarbete kommer behöva läggas på att rätta till modellen. Randvillkor ställs senare in i TSD där val huruvida balkar skall vara kontinuerliga eller enkelspända görs.

När bjälklag sätts ut skall dess positionering i djupet väljas till *Front*, för att den skall hamna ovanpå balkarna (Figur 17). Den skall även dras ut centriskt placerade på balkar och pelare.



Figur 17: Positionering och utsättning av bjälklag.

Snedstagen sätt ut som balkar i TS. För att de skall överföras på ett korrekt sätt är det två saker som blir viktiga. Dels att namnet på snedstaget ändras till "BRACE" och dels att positioneringen är *Middle* både på planet och i djupet (Figur 18). En annan sak som är viktig här är att snedstagens ändpunkter sätts ut i pelarcentrum för att handtagen skall fästa i varandra.

Beam Properties

Save

Load

standard

Save as

standard

Attributes

Position

Deforming

Numbering series

Prefix:

Start number:

☒ Part

M

☒ 1

☒ Assembly

B

☒ 1

Attributes

☒ Name:

BRACE

☒ Profile:

RHS80*40*3.0

Select...

☒ Material:

S275

Select...

☒ Finish:

☒ Class:

3

☒ User-defined attributes...

OK

Apply

Modify

Get

☒ / ☐

Cancel

Beam Properties

Save

Load

standard

Save as

standard

Attributes

Position

Deforming

Position

☒ On plane:

Middle

0.00

☒ Rotation:

Top

-0.00000000

☒ At depth:

Middle

-0.00

End offset

Start:

End:

Dx

☒ 0.00

☒ 0.00

Dy

☒ 0.00

☒ 0.00

Dz

☒ 0.00

☒ 0.00

Curved beam

☒ Radius:

XY plane

0.00

Number of segments:

1

OK

Apply

Modify

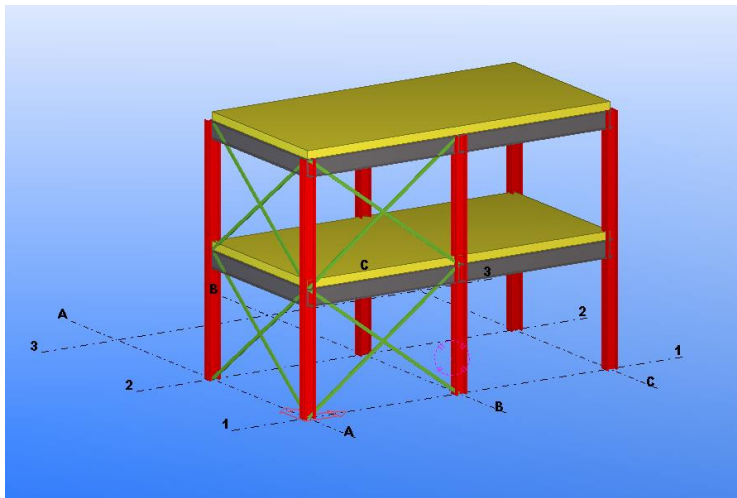
Get

☒ / ☐

Cancel

Figur 18: Namngivning och positionering av snedstag.

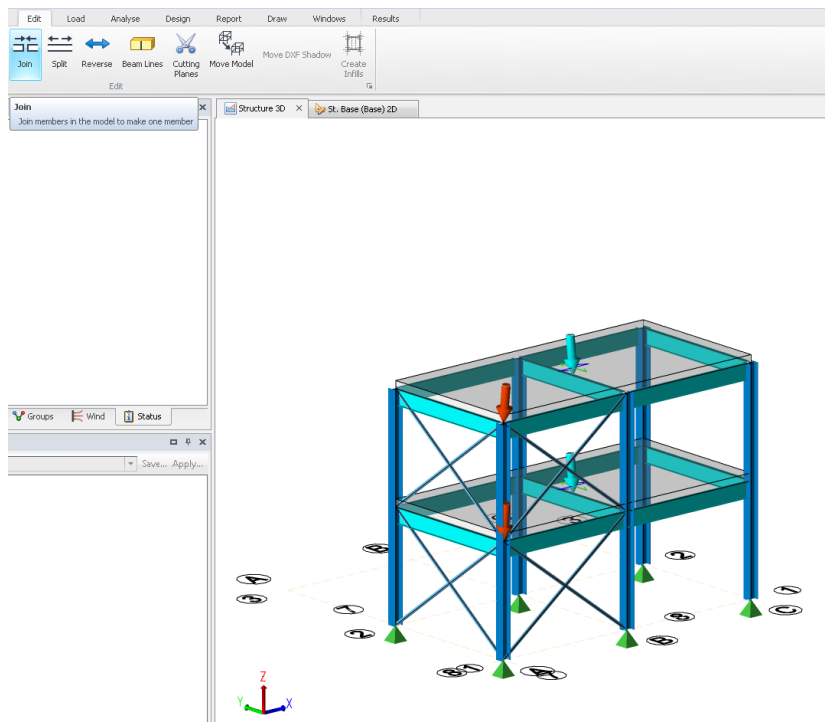
I Figur 19 visas hur modellen ser ut innan export till TSD.



Figur 19: Modell innan export till TSD.

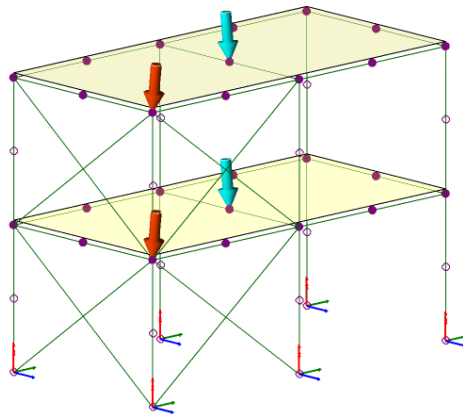
3.2.2 Arbete som utförs i Tekla Structural Designer

När modellen har importerats i TSD används verktyget *Join* för att sätta ihop de balkar som skall definieras som kontinuerliga (Figur 20). I Figur 20 har två extra stomlinjer tillkommit på de ställen där snedstag har placerats. Detta är ett fel som är känt av Trimble och som har åtgärdats i den senaste versionen av programvaran.



Figur 20: Modell efter import till TSD med extra stomlinjer.

I Figur 21 visas att alla noder är sammankopplade och att en korrekt analysmodell har erhållits.

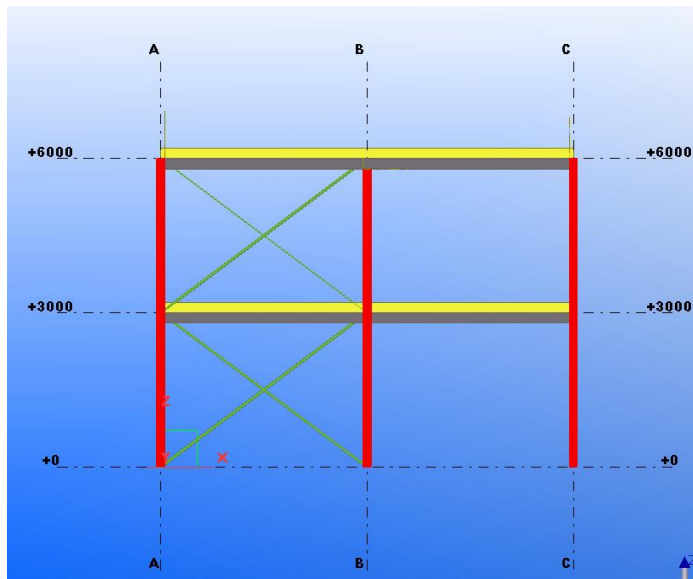


Figur 21: analyslinjer för tidigare importerad modell.

När randvillkor för infästningar har ställts in, kan både analys och dimensionering av strukturen utföras i TSD. Eventuella objekt kan läggas till i TSD i de fall strukturen behöver förstärkas. Till exempel är fackverk smidigare att modellera i TSD än TS och bör därför modelleras där.

3.2.3 Återimport av modellen till Tekla Structures

Då alla nödvändiga analyser och dimensionering av de ingående objekten har utförts kan modellen exporteras tillbaka till TS för den slutgiltiga handpåläggnen. Nu kan beskärning av balkar, pelare och snedstag utföras för att undvika att olika geometrier går in i varandra. De balkar som i TSD definierats som kontinuerliga kommer nu behöva ritas om manuellt. Efter att nödvändiga ändringar har genomförts ser modellen bra ut i sektion (Figur 22). I detta exempel redovisas obrutna pelare, det går även att arbeta med våningsunika pelare, så länge handtagen kopplar till varandra.



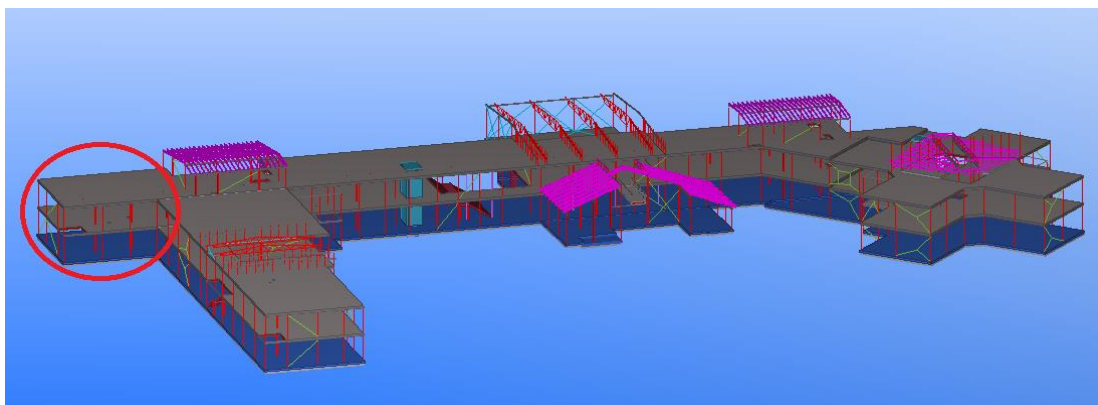
Figur 22: Sektion efter återimport till TS.

3.3 Två sätt att modellera på ÅF

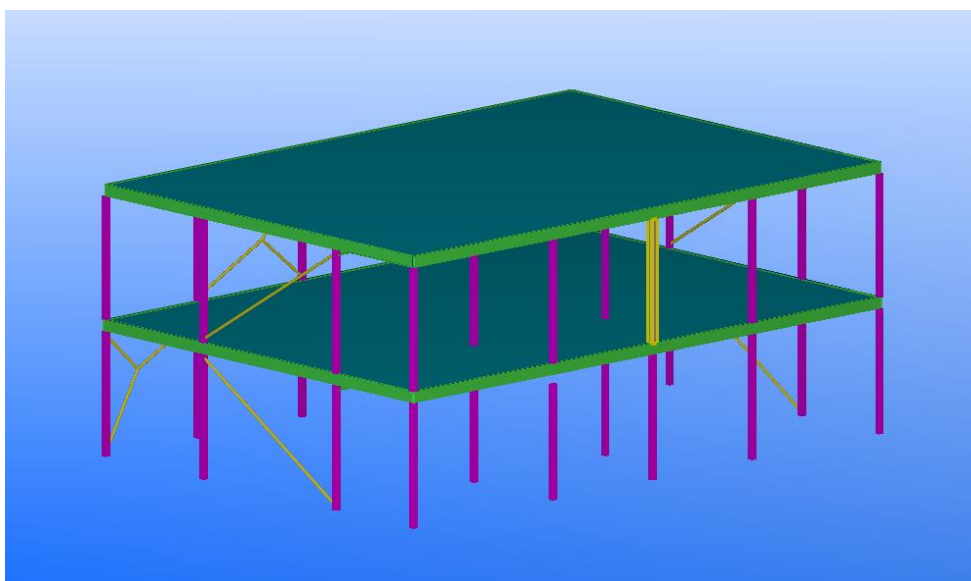
För att utvärdera hur arbetet med modellering i TS såg ut på ÅF erhöles två modeller, modellerade av olika projektörer, i två olika entreprenadformer. Den ena modellen, Kärraskolan, som utfördes som totalentreprenad, var mestadels modellerad utifrån det rekommenderade arbetssättet som vi tagit fram med pelare centriskt placerade, dock utan att handtagen fästs i varandra. Den andra modellen, Gamlestadsskolan, som utfördes som generalentreprenad, hade modellerats med pelare och balkar förskjutna. I följande avsnitt redovisas hur export- och importfunktionerna kan användas utan att arbetssättet behöver ändras, samt vad detta får för konsekvenser i termer av handpåläggning och kvalitetssäkerhet.

3.3.1 Exempel, Kärraskolan

Då Kärraskolan modellerats i en svensk miljö, och den svenska miljön i dagsläget inte är kompatibel med TSD:s brittiska miljö skapades en ny modell. Modellen som skapades var modellerad med Kärraskolan som utgångspunkt och fick därför anses vara representativ för modelleringsmetoden. I Figur 23 redovisas hela Kärraskolan med den isolerade del som modellerades om i den brittiska miljön inringad. I Figur 24 redovisas den modell som skapades i den brittiska miljön. Denna modell användes för att utföra studien.



Figur 23: Kärraskolan med isolerad del inringad.

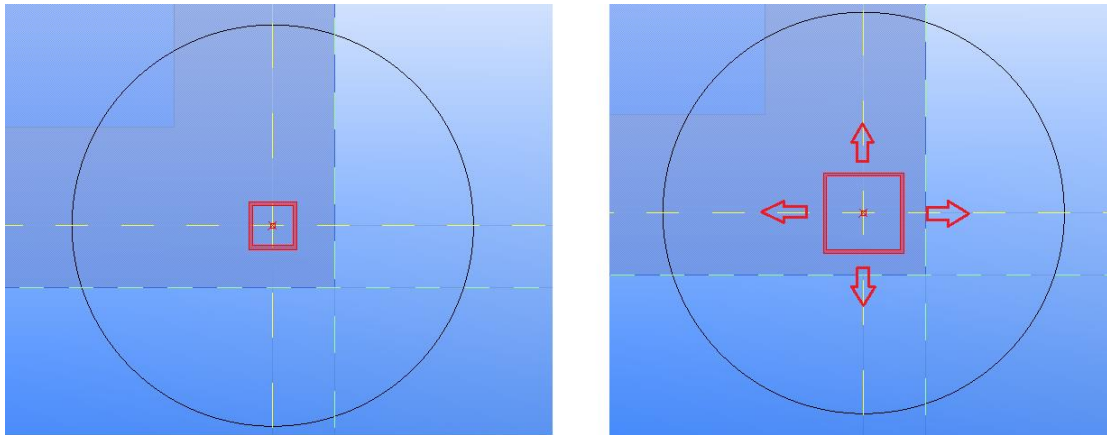


Figur 24: Isolerad del av Kärraskolan efter konvertering till brittisk miljö.

3.3.1.1 Hur objekten är utsatta i Tekla Structures

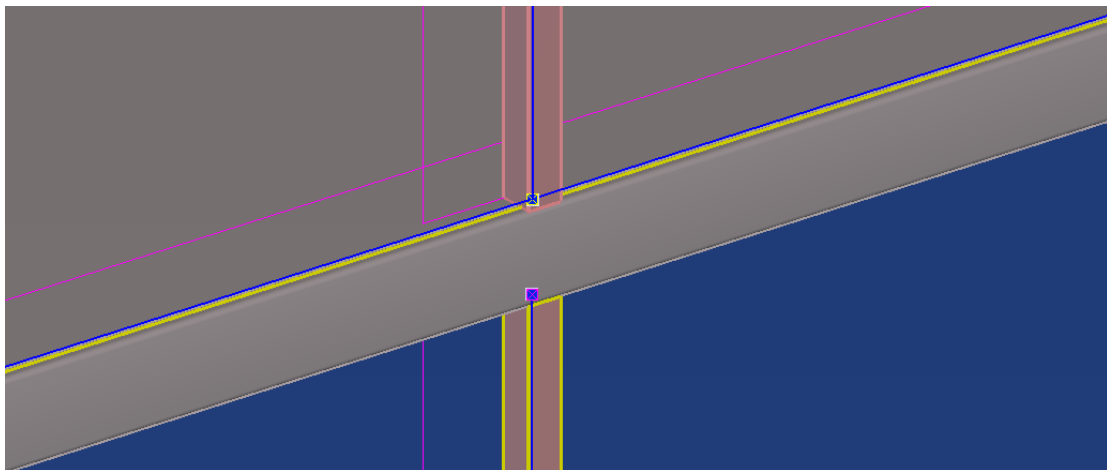
Kärraskolan är modellerad i ett projekt som utförts som en totalentreprenad. Entreprenadformen avgör modelleringens detaljnivå. I detta fall användes endast modellen för att producera ett förfrågningsunderlag, redovisat i plan och sektion.

Kärraskolan modellerades enligt en metod där objekt placerats centriskt i förhållande till de referenser som skapats i modellen. För pelare redovisas detta tydligast i en planvy vilket visas i Figur 25, där pelaren är placerad i en intersektion mellan två *construction lines*. Att modellera på detta vis underlättar arbetet med att laga modellen innan analysen genomförs. Dock försvårar pelarnas placering arbetet med att ändra modellen då pelarna växer utåt i alla riktningar när dimensionen ökas. Ofta placeras pelare på ett sådant sätt att de till exempel ska kunna stå på ett givet avstånd från ytterkant fasad. Om dimensionen senare ökas kommer pelaren växa enligt Figur 25, vilket leder till att pelarna kan behöva flyttas, eftersom de inte längre är placerade på det givna avståndet från fasaden.



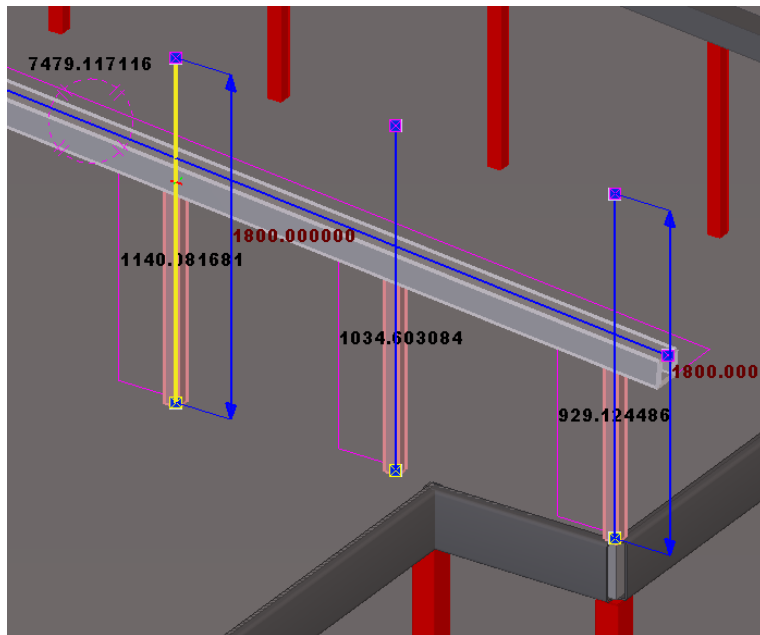
Figur 25: Positionering av pelare i Kärraskolan samt hur de växer vid ökning av dimensioner.

Balkarna i modellen var placerade centriskt, med handtag som kopplade mot pelarna ovanför balken. I Figur 26 illustreras hur balkens handtag låg i förhållande till den bärande och den burna pelaren. För den undre pelaren fäster inte handtaget i balken på samma sätt som för den övre pelaren.



Figur 26: Illustrering av hur pelares handtag i modellen möter balkarnas handtag.

I modellen återfanns även ett antal delar av en takkonstruktion som var modellerade med pelare och balkar. I Figur 27 visas tre pelare som var modellerade med konstant längd, med geometrierna beskurna efter den balk som låg ovanpå. Då analyslinjer skapas efter handtagen kommer denna metod att skapa takkonstruktioner ge upphov till merarbete i TSD eftersom detta måste justeras innan en analys kan genomföras.



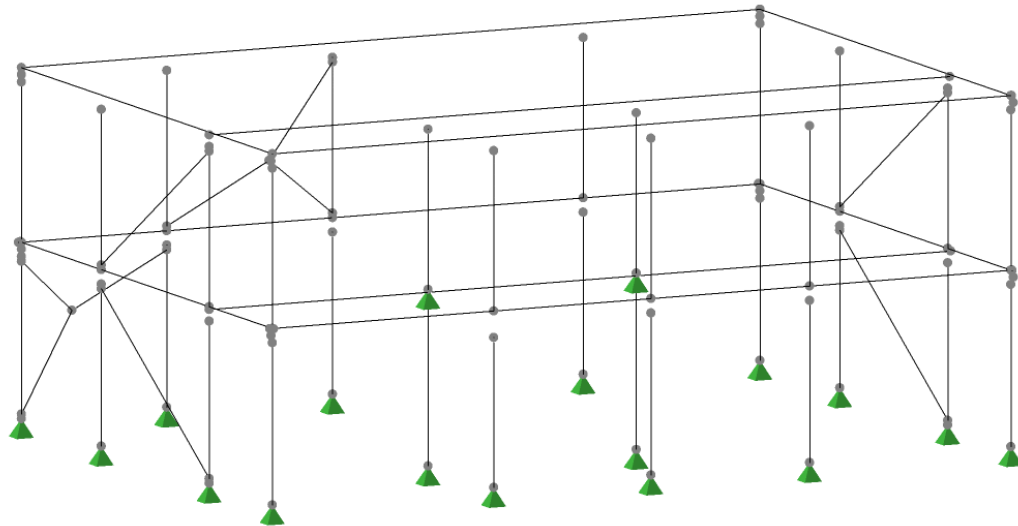
Figur 27: Del av takkonstruktion med handtag redovisade.

Delar av taket var modellerat med fackverk som spände över stora öppningar i huset. Fackverk som skapas i TS är modellerade på ett sätt som leder till mycket extra handpåläggning i TSD. Det är därför mer effektivt att skapa nya fackverk i TSD med hjälp av TSD:s fackverksverktyg, än att laga de befintliga. De fackverk som skapas i TSD kan senare även återimporteras till TS. Det är därför en rekommendation att vänta med fackverken tills modellen har exporterats till TSD. Delar av taket bestod av träbalkar som vilar på stålkonstruktionen. Trä konverteras till analyselement vid import till TSD, om inte en .cnv-fil använts vid export. Det är inte möjligt att dimensionera träobjekt i TSD, de kan enbart användas till att räkna ner laster. Därav måste en manuell dimensionering av träobjekten utföras.

Bjälklagen i modellen var förskjutna utanför de balkar som de vilade på. Om bjälklaget är modellerat fel med bara några millimeter kan det ge varningar vid analys, därför rekommenderas att bjälklag ej tas med vid export och istället modelleras på nytt i TSD.

3.3.1.2 Arbete som utförs i Tekla Structural Designer

I Figur 28 visas hur modellen ser ut efter export till TSD. Modellen lagas enligt tidigare beskriven metod.



Figur 28: Isolerad del av Kärraskolan efter import till TSD.

Då alla pelare var centriskt modellerade var lagningsprocessen relativt enkel eftersom inga pelare behövde justeras i horisontalld.

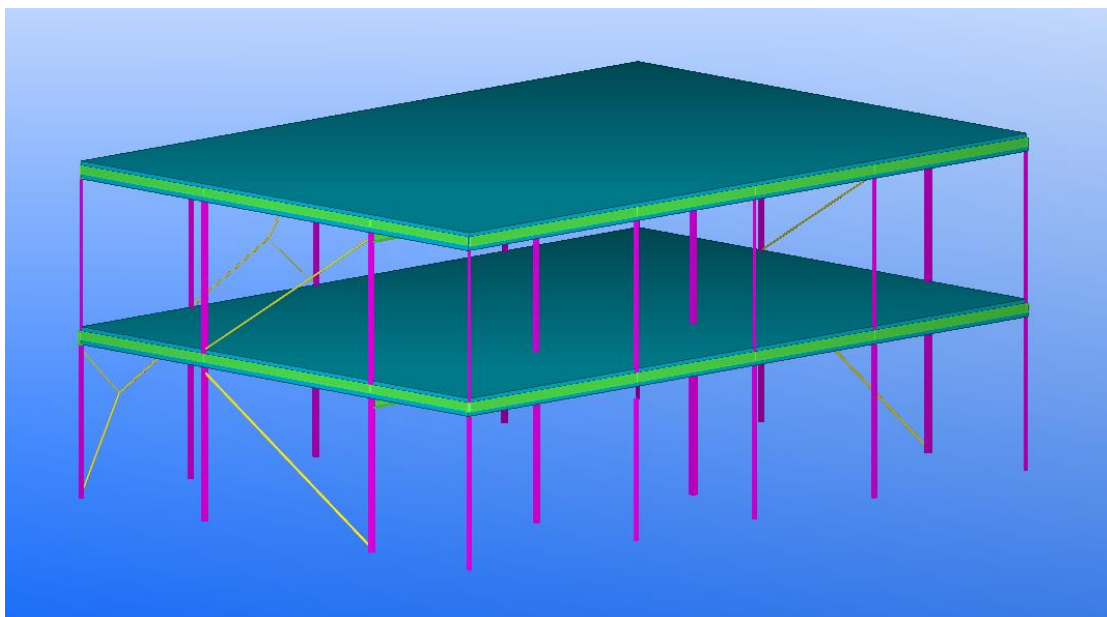
Det arbete som krävdes för att laga modellen var följande:

- Flytta pelarnas noder i vertikalld.
- Flytta felaktigt konsolande balknoder i horisontalld.
- Mittenbalken låg förskjuten ner i vertikalld, hela balken flyttades upp.
- Modellera om bjälklaget i TSD.
- Modifiera samtliga balkar då alla var modellerade som kontinuerliga balkar.

Efter att modellen lagats lades laster på och en automatisk dimensionering av de ingående objekten utfördes.

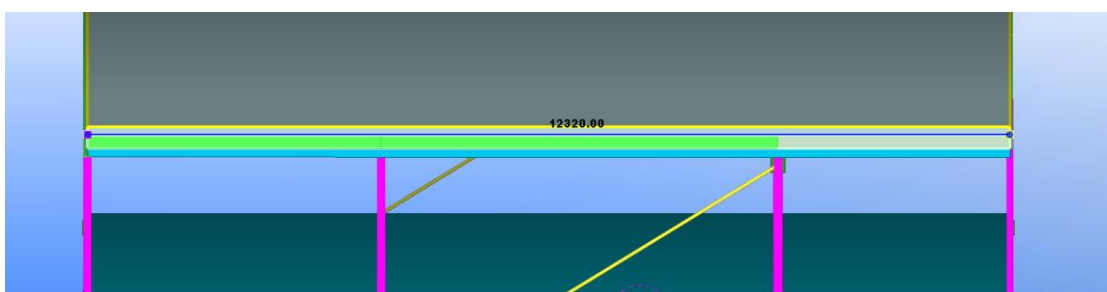
3.3.1.3 Återimport till Tekla Structures

I Figur 29 visas hur modellen ser ut efter återimport i TS. Eftersom vi valde att dimensionera alla ingående objekt automatiskt har nu C-balkarna fått olika dimensioner, vilket gör att bjälklaget inte får plats i dem. Det är därför viktigt att hålla koll på vad som bör dimensioneras automatiskt och var manuell kontroll ska behållas.



Figur 29: Isolerad del av Kärraskolan efter återimport till TS.

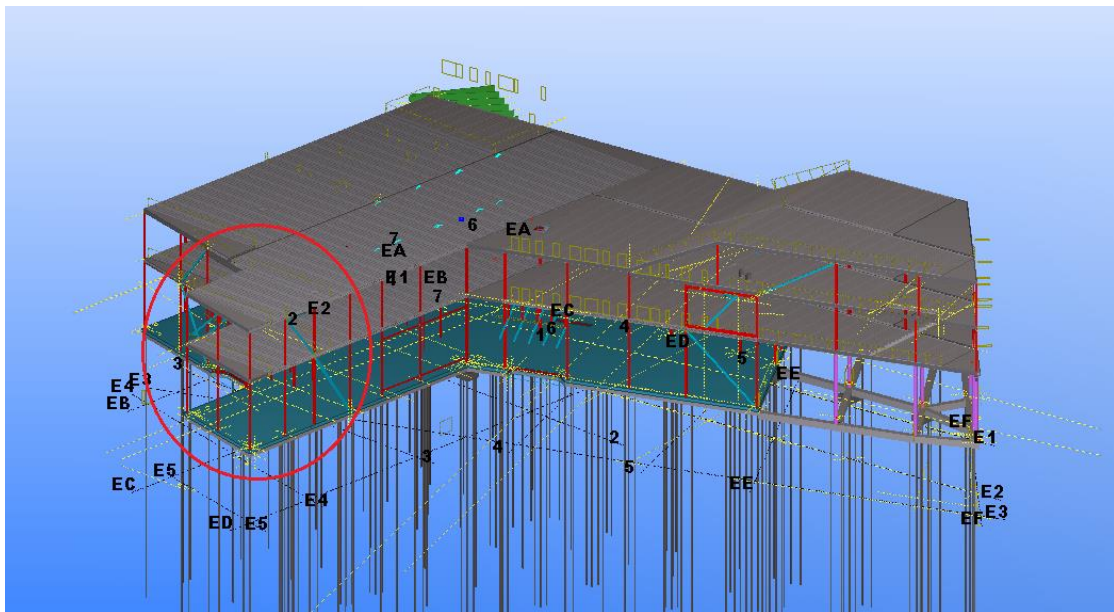
I Figur 30 visas hur det skapats ett antal kollisioner med dubbla balkar i modellen efter importen. Detta är ett resultat av att de kontinuerliga balkarnas noder rättades till i TSD när modellen lagades. Resultatet av detta blir att det i TS skapas en extra enkelspänd balk i alla fack utom det första. I Figur 30 innebär detta att den markerade balken, längst till höger i bild, är originalbalken och det finns två extra enkelspända balkar i facken till vänster i bild. Här är det enklast att manuellt ta bort de extra balkar som skapas och låta den kontinuerliga balken vara kvar.



Figur 30: Kollisioner med dubbla balkar efter återimport.

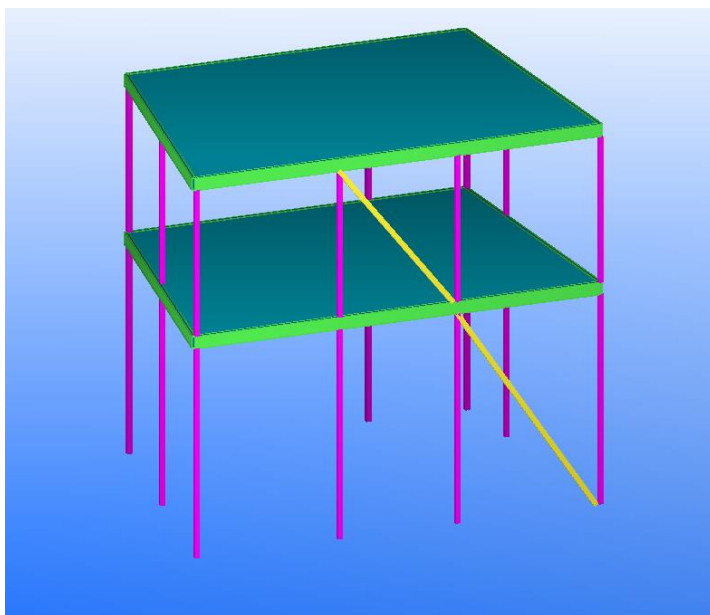
3.3.2 Exempel, Gamlestadsskolan

På samma sätt som för Kärraskolan så behövde modellen för Gamlestadsskolan göras om från den svenska miljön till den brittiska miljön, för att vidare arbete skulle vara möjligt. Processen var densamma som tidigare beskrivits och en ny isolerad del av skolan som är representativ för originalmodellen skapades. Figur 31 illustrerar skolan samt vilken del som isolerats.



Figur 31: Gamlestadsskolan med isolerad del inringad.

I Figur 32 presenteras den modellen som skapades i brittiska miljön med Gamlestadsskolan som utgångspunkt.

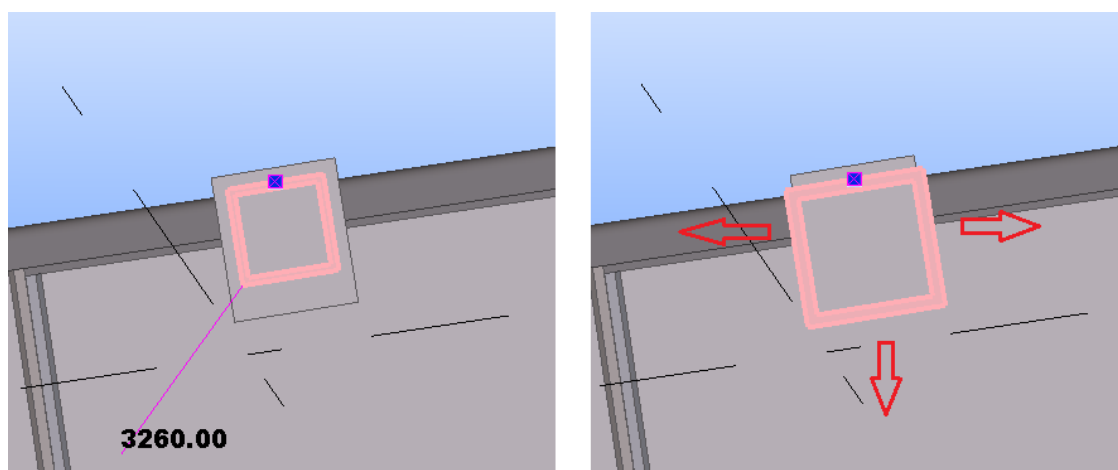


Figur 32: Isolerad del av Gamlestadsskolan efter konvertering till brittisk miljö.

3.3.2.1 Hur objekten är utsatta i Tekla Structures

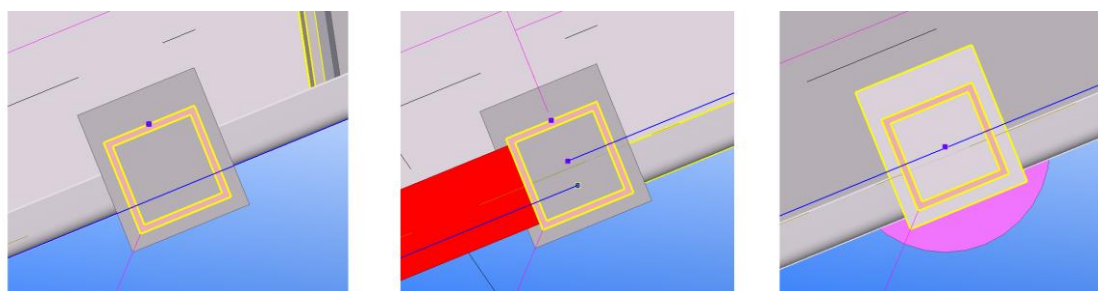
Gamlestadsskolan var projekterad i ett projekt som utfördes som en generalentreprenad. Med detta följer att de geometriska objekten var utsatta på ett sådant sätt att de skall vara representativa för hur byggnaden kommer att se ut när den färdigställts, då modellen skall kunna fungera som underlag för bygghandlingar. Modellen för Gamlestadsskolan var skapad på ett sätt där metoden för utsättning av objekt varierade beroende på var i byggnaden de befann sig.

I modellen fanns vissa pelare som var placerade centriskt, men många av pelarna i fasaderna var placerade förskjutna åt något håll. För pelare i fasad fanns det givna avstånd som var viktiga att förhålla sig till, dessa pelare var då utsatta med sina handtag låsta mot det avståndet och sedan förskjutna bort från handtaget. Detta modelleringsätt försvårar arbetet med att laga modellen inför en analys, men det underlättar arbetet som uppstår när dimensionen av en pelare ändras. Som Figur 33 visar så växer pelaren inåt och dess avstånd till ytterkant fasad behöver inte senare justeras.



Figur 33: Positionering av pelare i Gamlestadsskolan samt hur de växer vid ökning av dimensioner.

Hur pelare och balkar var placerade i förhållande till varandra är svårt att redovisa på ett generellt sätt. Vad som var gemensamt för utsättningen var dock att den utförts på ett sådant sätt att handtagen inte kopplade mot varandra. I Figur 34 visas tre exempel på hur handtagen för pelare och balkar kan ligga i förhållande till varandra, i figuren redovisas pelarnas handtag som blå prickar och balkarna som sträck. Hur dessa är placerade varierar beroende på vilken del av byggnaden de står i och vilka avstånd som blir avgörande för objekts placering.

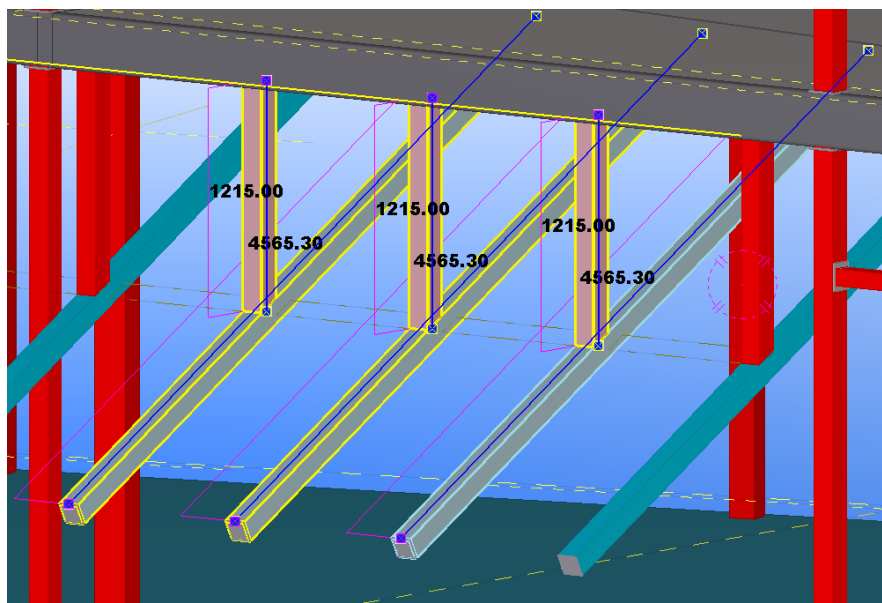


Figur 34: Olika positioneringsalternativ återfunna i Gamlestadsskolan.

Byggnaden var konstruerad med ett HD/F-bjälklag som både mellanbjälklag och tak. Då TSD inte kan hantera HD/F-bjälklag så ska dessa ej tas med vid export.

En del av byggnadens takkonstruktion består av träbalkar som vilar på byggnadens stålkonstruktion, dessa balkar får ersättas med analyselement och kan inte

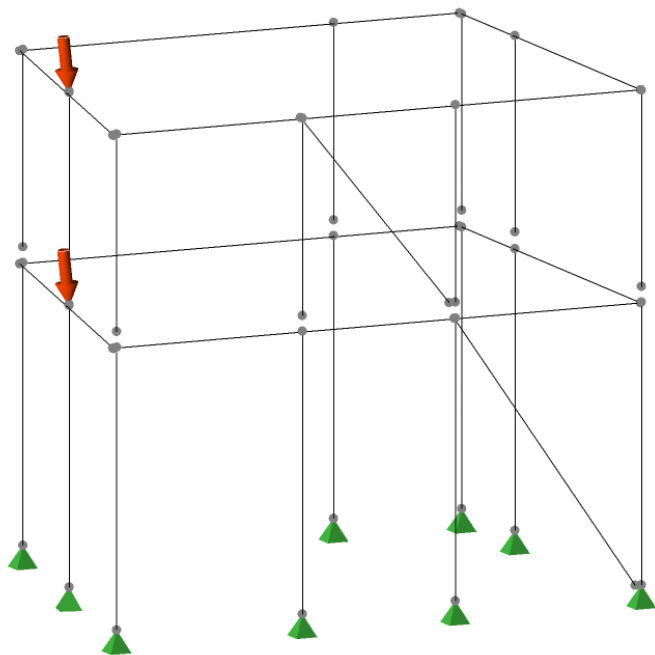
dimensioneras av programvaran. Dimensionering av träobjekt måste utföras manuellt. Komplement till byggnaden så som skärmtak och vindstag var modellerade centriskt men utan hänsyn till hur dess handtag låg i förhållande till de ingående objekten. I Figur 35 visas ett skärmtak bestående av balkar och pelare med centrumlinjer som ej fäster i varandra.



Figur 35: Skärmtak i Gamlestadsskolan med handtag redovisade.

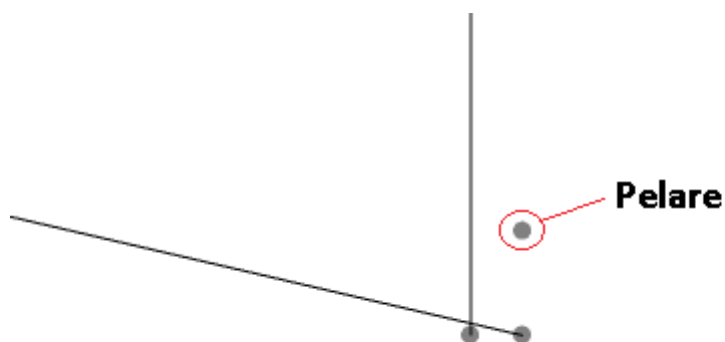
3.3.2.2 Arbete som utförts i Tekla Structural Designer

I Figur 36 visas modellen efter att en import till TSD genomförts. I figuren har geometrierna släckts, varför enbart analys-elementen redovisas. Vid en första anblick såg analysmodellen ut att vara skapad på ett liknande sätt som Kärraskolan, men det fanns några avgörande skillnader. Vid modelleringen i TS användes verktyget för förskjutning av pelare, därför var balkarna placerade centrerat mot pelarnas geometrier och inte dess handtag.



Figur 36: Isolerad del av Gamlestadsskolan efter import till TSD.

I Figur 37 syns tydligare vad detta leder till. Bilden är tagen rakt ovanifrån och visar två balkar som illustreras av de raka sträckan som slutar i varsin nod samt en pelare som är inringad i rött.



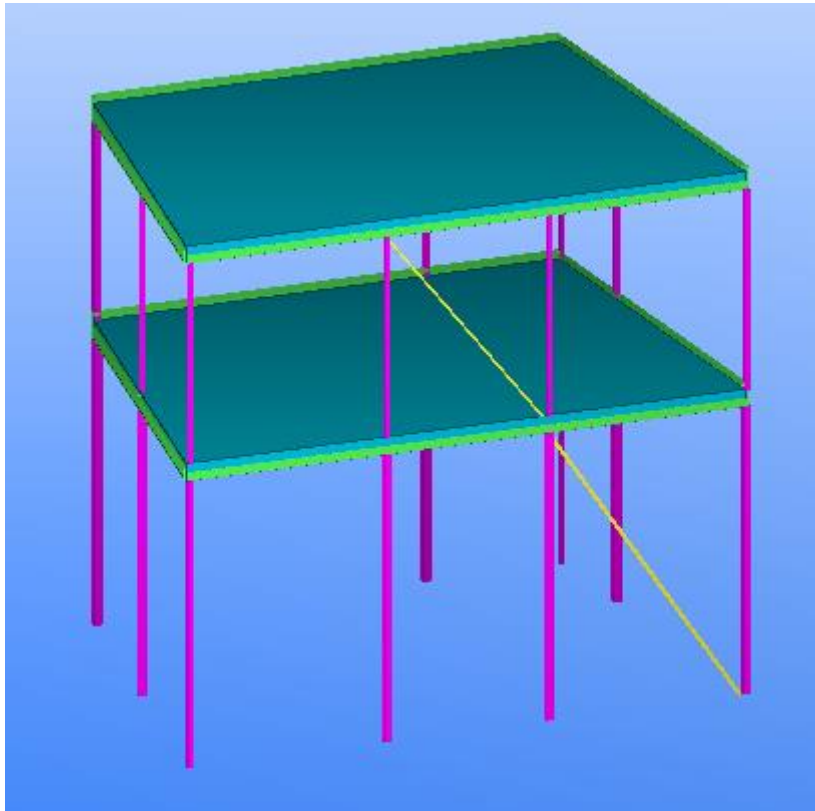
Figur 37: Förskjutning av pelare och balkar i horisontalled.

Det arbete som krävdes för att laga modellen var följande:

- Flytta pelare och snedstag i horisontalled.
- Korrigera längden på pelare i markplan.
- Flytta pelarnas och snedstagens noder i vertikalled.
- Placera nya stöd under pelare i markplan.
- Modellera om bjälklaget i TSD.
- Modifiera samtliga balkar då alla var modellerade som kontinuerliga balkar.

3.3.2.3 Återimport av modellen till Tekla Structures

På samma sätt som för den tidigare redovisade Kärraskolan har alltså extra balkar skapats vid en återimport till *Tekla Structures*. Dessa balkar får raderas manuellt. I övrigt ser modellen ut som den ska och kan användas som ritningsunderlag så fort de olika objektens namn har korrigerats (Figur 38).



Figur 38: Isolerad del av Gamlestadsskolan efter återimport till TS.

4 Slutsats och Diskussion

I Följande kapitel diskuteras resultaten av litteratur- intervju- och fallstudien. Därefter redovisas de slutsatser som vi kommit fram till under arbetet med rapporten.

4.1 Utvärdering av vald metod

Att hämta information gällande den teoretiska projekteringsprocessen i befintlig litteratur visade sig vara svårare än väntat, troligtvis är arbetsgångarna ofta arbetsplatsunika och varierar beroende på vilket kontor som det gäller. Med hjälp av intervjustudierna lyckades vi komplettera kunskapen som hade inhämtats via litteraturstudier med mer praktiska exempel. Att utföra förstudien som en litteraturstudie med kompletterande intervjustudie visade sig vara en väl fungerande metod att inhämta information till examensarbetet.

Utbildningen hos Trimble i Västerås gav oss goda kunskaper om hur *Tekla Structures* går att använda. En nackdel med fallstudien var att vi på förhand saknade kunskaper om hur *Tekla Structural Designer* fungerade, vilket i vissa fall ledde till felaktiga antaganden som senare var tvungna att omprövas. Fallstudien gav oss god förståelse för hur arbetsfördelningen mellan en projektör och en konstruktör ser ut i praktiken. Den gav oss även fördjupad förståelse om de olika programvarornas interoperabilitet, men även dess begränsningar.

4.2 Diskussion

Efter att ha utvärderat kopplingen mellan TS och TSD visar det sig att kopplingen fungerar bra, förutsatt att pelarna och balkarnas handtag fäster i varandra vid modellering i TS. Att modellera på detta sätt leder dock till att geometrier skär varandra och pelare begränsas till att växa utåt i alla riktningar då dimensionerna på dessa ökas. En effekt av detta är att det inte är möjligt att sätta en pelare i linje med en vägg för att sedan låta den växa inåt vid en omdimensionering. Att modellera på detta sätt, utan att extra handpåläggning krävs, hade antagligen varit fullt möjligt då projektet utförs som en totalentreprenad. Detta på grund av att enbart plan- och sektionsritningar skall redovisas vid ett förfrågningsunderlag där inga andra måttsättningar än stomlinjemått och plushöjder redovisas.

Om utförandet istället genomförs som en generalentreprenad blir arbetssättet med att placera ut pelare centriskt för begränsande, då förfrågningsunderlaget skall kunna stämplas om som bygghandlingar. Det ställs alltså högre krav på en exakt modellering vid generalentreprenad. I detta fall är det istället rekommenderat att utgå från ÅF:s befintliga arbetsmetod. Det är då möjligt att exportera modellen, för att sedan, i TSD, laga den trasiga analysmodellen. Att laga analysmodellen i TSD kan vara ett frustrerande och tidskrävande arbete och det är därför viktigt att projektören har i åtanke att analyslinjerna i TSD utgår från handtagen i TS, för att i så stor mån som möjligt underlätta senare reparationsarbete. För att kunna arbeta med den kompatibla kopplingen är det därför viktigt att projektören har förståelse för konstruktörens arbete och vice versa. Ju bredare kompetens varje inblandad ingenjör har, desto smidigare kommer arbetet att fortlöpa.

Om kopplingen går att använda, och i så fall hur, varierar antagligen från projekt till projekt. Användbarheten beror på vad det är för material i stommen och vilken entreprenadform projektet utförs som. Byggnationens komplexitet är också något som bör tas i beaktning. En utvärdering av kopplingen i skarpt läge hade behövt utföras för att undersöka om kopplingen verkligen är tillämplig i praktiken. Detta kan dock inte utföras förrän programvaran har lanserats i Sverige.

Även om tidsåtgången för att laga en trasig analysmodell är likvärdig med tiden det skulle ta att upprätta den från början så finns det mycket att tjäna på reparationsarbetet. När analysmodellen väl är lagad är det möjligt att automatiskt dimensionera både pelare och balkar, för att senare överföra de nya dimensionerna tillbaka till TS-modellen. På detta sätt undviks att information om dimensionsförändringar faller mellan stolarna till följd av den mänskliga faktorn. Med hjälp av detta verktyg blir arbetet med att uppdatera dimensioner både effektivare och mer kvalitetssäkert.

En av anledningarna till att det är önskvärt att få kopplingen att fungera är att undvika fel orsakade av den mänskliga faktorn och att skapa en mer automatiserad arbetsgång som integrerar analys- och konstruktionsdesign. Dock försvinner möjligheterna att totalt automatisera i och med den manuella handpåläggningen som måste utföras vid export och import. Det mänskliga arbetet har i och med detta bara förskjutits till ett annat steg i kedjan, och en ny arbetsprocess har skapats, där människan istället får komplettera datorns tillkortakommanden.

Då alla olika arbetsmetoder som beskrivs i denna rapport ställer krav på ett precist förhållningssätt, både från konstruktörens, och projektörens sida, kan problem uppstå när det är för många personer inblandade i ett och samma projekt. För att uppnå ett kvalitetssäkert arbetssätt krävs det i dessa fall både ett nära samarbete och en god kommunikation. Vidare krävs det även att projekteringen sker på ett enhetligt sätt där en standardmetod för utsättning av pelare används. Vid projekt där två eller flera personer ritar i samma modell kan problem uppstå då en konstruktör ska laga modellen, detta då olika delar av modellen kan vara skapade med olika modelleringsmetoder. För mindre projekt, där en och samma person både utför arbetet som konstruktör och projektör, blir det enklare att ha en övergripande koll på hela processen, och således enklare att hela tiden jobba på ett kvalitetssäkert sätt.

En fungerande koppling mellan de båda programvarorna skulle på sikt kunna göra både konstruktörens, och projektörens arbete dels mer effektivt, men även mer kvalitetssäkert. Dock kräver detta att både projektörens och konstruktörens arbetssätt förändras, det kräver också en tilltro till att programvarukopplingen fungerar sömlöst. I dagsläget finns det för mycket som kan gå fel vid export och import för att det skall vara rimligt att blint lita på kopplingen, men eftersom Trimble aktivt jobbar med att uppdatera och utveckla programvarukopplingen ger det goda förhoppningar inför en framtida sverigelansering.

4.3 Slutsats

Tester utfördes för att utvärdera kopplingen mellan TS och TSD. Det var från början känt att programvaran var nylanserad, dock inte att programvaran ännu ej var lanserad

i Sverige. Detta har medfört att många idéer har behövt omarbetas under projektets gång. Det har också medfört att modelleringen i TS har behövt utföras i en brittisk miljö, med tvärsnitt som kan anses vara likvärdiga med de som används i Sverige. Det finns inget som indikerar att överföringen skulle se annorlunda ut vid arbete i en annan nationell miljö. Testerna har i vissa fall visat på fel eller brister som uppmärksamrats då andra programvarukopplingar undersökts, men även att saker som har fungerat dåligt för andra programvarukopplingar faktiskt fungerar felfritt i detta fall. Till exempel visade det sig att håltagningar i betong inte överförs mellan TS och TSD, vilket också var fallet i överföringen mellan TS och SAP2000 (Beckman och Milveden, 2013, s.45). Dock fungerar den befintliga kopplingen trots att programvarorna är installerade på olika datorer vilket inte var fallet då Beckman och Milveden (2013, s. 64) utvärderade kopplingen mellan TS och SAP2000.

Det har också under arbetet med fallstudien visat sig att programvarukopplingen lider av vissa barnsjukdomar, vilket antagligen är en följd av att den är så pass nylanserad. Till exempel är *Offset*-verktyget olika definierat i TS och TSD vilket leder till att de geometriska objekten flyttar sig vid export från TS till TSD. Ett annat problem är att *Ignore new items*-funktionen inte fungerar vid återimport till TS. Detta förklaras av Trimble med att TSD är så pass nytt att de inte ännu hunnit utvärdera och kvalitetssäkra kopplingen mellan programvarorna (se appendix II – kommentarer till Trimble med svar). De ovan nämnda problemen är kända av Trimble och är något de i dagsläget jobbar på, vilket ger förhoppningar om att överföringen skall fungera mer kvalitetssäkert vid en sverigelansering av programvaran.

Det visar sig att överföringen mellan de olika programvarorna fungerar väl, förutsatt att projektören och konstruktören förhåller sig till de begränsningar som finns. För att det skall gå att använda programvarukopplingen på ett sömlöst sätt i praktiken krävs det att ÅF ändrar sitt arbetssätt vid modellering i TS, och utgår från det rekommenderade arbetssättet som beskrivs i kapitel 3. Det är även möjligt att använda kopplingen utan att ändra sitt sätt att modellera, men leder i dessa fall till att extra handpåläggning behöver utföras i TSD, där modellen måste lagas. Det är då av stor vikt att projektören hela tiden håller koll på hur objekt sätts ut och vad detta får för konsekvenser för konstruktörens arbete med att laga modellen. Oavsett vilket arbetssätt som föredras så rekommenderas en standardisering av arbetssättet för att i så stor mån som möjligt minska mängden handpåläggning som krävs.

Att utgå från det i rapporten rekommenderade arbetssättet är framför allt tillämpligt då utförandeformen är totalentreprenad och enbart ett förfrågningsunderlag skall produceras. Rör det sig om en generalentreprenad, där bygghandlingar skall produceras, blir en extra handpåläggning oundviklig oavsett om modellen utförs på det rekommenderade arbetssättet eller på det befintliga. Dock minskas omfattningen av handpåläggning om projektören i dessa fall utgår från det befintliga arbetssättet och konstruktören, i samråd med projektören, utför arbetet med att laga modellen i TSD.

4.4 Förslag på fortsatta studier

Avslutningsvis presenteras två förslag på fortsatta studier som skulle kunna genomföras för att utvärdera programvarans möjligheter ytterligare. Vissa avgränsningar har gjorts när rapporten skrivits och det finns ytterligare kopplingar och

delar av programmet som inte har behandlats i denna rapport men som fortfarande är högst aktuellt att titta närmare på.

- Kontrollera kopplingen mellan *Revit Structures* samt eventuellt andra programvaror och *Tekla Structural Designer*.

Detta examensarbete har endast behandlat kopplingen mellan *Tekla Structures* och *Tekla Structural Designer*, båda dessa programvaror tillhandahålls och utvecklas av Trimble. Då båda dessa programvaror tillhör samma företag så bör Trimble besitta en god förståelse för hur deras program skriver och läser information från och till exportfiler. *Revit Structures* är ett program som ofta används på konstruktionsfirmor, det vore därför intressant att se hur samma koppling som utvärderats i denna rapport hanteras mellan *Revit Structures* och *Tekla Structural Designer*. Förutom Revit finns det även verktyg för export till exempelvis *Cellbeam* och *Robot*. För företag som använder sig av dessa programvaror kan det även finnas anledning att undersöka dessa kopplingar.

- Genomföra en mer omfattande utvärdering av analys- och dimensioneringsverktyget i *Tekla Structural Designer* samt kontrollera normer och anpassning till Eurokoderna.

Detta examensarbete har syftat till att utvärdera kopplingen mellan TS och TSD samt att utreda en arbetsgång för hur denna koppling bör användas i praktiken. Under arbetets gång har inte analys- och dimensioneringsverktygen i *Tekla Structural Designer* undersökts då detta ligger utanför rapportens omfattning. Här finns det delar av programmet som kan utvärderas närmare, men för att det ska bli aktuellt att genomföra behöver först en anpassning för den svenska miljön lanseras. Förutsatt att Trimble lanserar *Tekla Structural Designer* i Sverige skulle en utvärdering av hur analys- och dimensioneringsverktyget räknar vara nödvändigt för att det skall kunna användas i praktiken. Utöver detta behöver även en utvärdering av vilka byggnormer som används vid beräkning göras. Hur TSD hanterar uppdateringar av Eurokoderna hade också behövt undersökas.

5 Referenser

Beckman, L., Milveden, G. (2013). *Integrated work of the CAD-technician and the structural engineer* (Examensarbete, Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknik)

BIM Alliance. (2015). *buildingSMART utveckling*. Hämtad från http://www.bimalliance.se/natverk_och_utveckling/intressentgrupper/buildingsmart_utveckling

BIM Alliance. (2015). *buildingSMART international*. Hämtad från http://www.bimalliance.se/natverk_och_utveckling/standardisering/buildingsmart_international

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, P., Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

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

Nilsson, M., Svennered, M. (2012). *Integrerad arbetsprocess mellan projektör och konstruktör: För effektiv och kvalitetssäker projektering med Tekla Structures och SAP2000* (Examensarbete, Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknik)

Nordstrand, U. (2008). *Byggprocessen*. Stockholm: Liber.

Révai, E. (2012). *Byggstyrning*. Stockholm: Liber.

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

(a) Trimble Solutions Corporation. (2016). *Tekla Structural Designer*. Hämtad från <http://www.tekla.com/products/tekla-structural-designer>

(b) Trimble Solutions Corporation. (2016). *Vad är BIM?*. Hämtad från <http://www.tekla.com/se/om-oss/vad-ar-bim>

(c) Trimble Solutions Corporation. (2016). *Historik*. Hämtad från http://www.tekla.com/se/om-oss/om-oss?qt-view_referenced_tabs_block=0#qt-view_referenced_tabs_block

(d) Trimble Solutions Corporation. (2016). *Tekla Structures Bim-programvara*. Hämtad från <http://www.tekla.com/se/produkter/tekla-structures>

(e) Trimble Solutions Corporation. (2016). *Exporting with Tekla Structural Designer Integrator*. Hämtad från http://teklastructures.support.tekla.com/211/en/int_exporting_to_tekla_structural_designer