

Integrerad arbetsprocess mellan projektör och konstruktör

För effektiv och kvalitetssäker projektering med Tekla Structures och SAP2000

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

MARTIN NILSSON, MARTIN SVENNERED

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2012
Examensarbete 2012:111

EXAMENSARBETE 2012:111

Integrerad arbetsprocess mellan projektör och konstruktör

För effektiv och kvalitetssäker projektering med Tekla Structures och SAP2000

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MARTIN NILSSON, MARTIN SVENNERED

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2012

Integrerad arbetsprocess mellan projektör och konstruktör

För effektiv och kvalitetssäker projektering med Tekla Structures och SAP2000

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

© MARTIN NILSSON, MARTIN SVENNERED, 2012

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2012:111

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2012
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Chalmers Reproservice
Göteborg 2012

Integrerad arbetsprocess mellan projektör och konstruktör

För effektiv och kvalitetssäker projektering med Tekla Structures och SAP2000

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MARTIN NILSSON, MARTIN SVENNERED

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg 2012

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I dagens projektering kan projektör och konstruktör arbeta kring en och samma 3D-modell genom kompatibla programvaror. Ett exempel på kompatibla programvaror är 3D-modelleringsprogrammet Tekla Structures och analys- och dimensioneringsprogrammet SAP2000. Kompatibiliteten innebär en integrerad projekteringsform där både projektör och konstruktör kan påverka den gemensamma informationen. Projektering med kompatibla programvaror tillämpas idag i begränsad utsträckning och har behov av tydliga riktlinjer för effektiv och kvalitetssäker tillämpning.

Syftet var att undersöka den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000 för att få svar på hur den bör tillämpas vid integrerad projektering. Utifrån resultatet utformades en handbok med rekommendationer om hur projektör och konstruktör bör arbeta för att uppnå en effektiv och kvalitetssäker tillämpning. I projektet undersöktes även vad kompatibla programvaror kan innebära för dagens projektering.

För framtagning av resultat tillämpades en litteraturstudie, en fallstudie, samtal och intervjuer samt utbildning i programvaror. Resultaten visade att 3D-modeller kan överföras mellan Tekla Structures och SAP2000 med programlänk eller att manuellt exportera och importera filer. Lösningen innebar både möjligheter och begränsningar i informationsutbyte. Begränsningar i att samma information inte går att överföra i båda riktningar, och möjligheter i att arbetsmoment kan utföras i båda programmen. Integrerad projektering med tydliga riktlinjer för tillämpning och ansvarsfördelning bidrar till en effektiv och kvalitetssäker projektering. Ökad kompatibilitet ger möjlighet för projektör och konstruktör att tillsammans ”bygga” modellen. Istället för att idag modellera av en teknisk lösning finns nu möjligheten att modellera fram en teknisk lösning.

Nyckelord: Integrerad projektering, projektör, konstruktör, Tekla Structures, SAP2000, kompatibilitet, kompatibla programvaror, knowledge-based engineering

Integrated workflow between project managers and structural engineers
For effective and quality-assured designing with Tekla Structures and SAP2000
Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering
MARTIN NILSSON, MARTIN SVENNERED
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of Structural Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

In today's design projects project managers and structural engineers are able to work with a single 3D model. This workflow is achieved by compatible software. Example of compatible software is Tekla Structures and SAP2000. The compatibility integrates the workflow between project managers and structural engineers. To obtain an effective and quality-assured integrated workflow, the collaboration between project managers and structural engineers is in need of clear guidelines of use. This project aimed to work out such guidelines from the compatible software Tekla Structures and SAP2000. There was also an interest in examining what compatible software implies for today's design process.

The project was accomplished by a literature review, a case study, discussions and interviews, and training in software. Results indicated that 3D models can be transferred between Tekla Structures and SAP2000 with direct link or manually by exporting and importing files. The compatible software presented both opportunities and limitations in interchange of information. Conclusions showed that integrated design with clear guidelines provides an efficient and quality-assured workflow between project managers and structural engineers. Other conclusions revealed that compatibility, which integrates the workflow, makes it possible for project managers and structural engineers to jointly "build" a virtual model. By that there are possibilities to dynamically model a technical solution in today's design projects.

Key words: Integrated design, drafters, constructors, Tekla Structures, SAP2000, compatible software, knowledge-based engineering

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME	II
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VII
DEFINITIONER OCH BEGREPP	IX
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Frågeställning	2
1.4 Metodbeskrivning	3
1.4.1 Förstudie	3
1.4.2 Fallstudie	3
1.5 Avgränsningar	4
2 PROJEKTERING OCH VERKTYG	5
2.1 Produktframställningsprocessen	5
2.2 Projekteringens olika stadier	5
2.3 Projektering i konstruktionsbranschen	6
2.3.1 System- och detaljprojektering	6
2.4 Projektering – ett arbete fördelat på två roller	9
2.4.1 Projektör	9
2.4.2 Konstruktör	9
2.5 Projektering, verktyg och kompatibilitet	10
2.5.1 Från penna till 2D-CAD	10
2.5.2 Från ritning till modellering	10
2.6 Moderna verktyg för projektör och konstruktör	11
2.6.1 Tekla Structures	12
2.6.2 SAP2000	12
2.7 Kompatibla filformat och programlänkar	13
2.7.1 Tekla Structures och SAP2000	13
2.8 Integrerad projektering	14
CHALMERS , <i>Bygg- och miljöteknik</i> , Examensarbete 2012:111	III

3	BESKRIVNING AV FALLSTUDIENS GENOMFÖRANDE	15
3.1	Analys och exportering	15
3.2	Analysernas upplägg	17
3.3	Från resultat till rekommendationer	17
3.4	Fallstudiens förutsättningar	18
3.4.1	Grundmodellens geometri	18
3.4.2	Profiler	20
3.4.3	Material	22
3.4.4	Laster	22
3.4.5	Normer	22
3.4.6	Programvaror	22
3.4.7	Modellering	23
3.4.8	Analys och dimensionering	23
4	FALLSTUDIEN DEL I – RESULTAT OCH REKOMMENDATIONER	24
4.1	Analys: Programlänk – Export	24
4.1.1	Bakgrund	24
4.1.2	Syfte	24
4.1.3	Förutsättningar	24
4.1.4	Genomförande	25
4.1.5	Resultat	25
4.1.6	Analys och utvärdering	28
4.1.7	Slutsats	30
4.1.8	Rekommendation	30
4.2	Analys: Programlänk - Open Application	31
4.2.1	Bakgrund	31
4.2.2	Syfte	31
4.2.3	Förutsättningar	31
4.2.4	Genomförande	31
4.2.5	Resultat	32
4.2.6	Analys och utvärdering	33
4.2.7	Slutsats	34
4.2.8	Rekommendation	35
4.3	Analys: Manuell export	36
4.3.1	Bakgrund	36
4.3.2	Syfte	36
4.3.3	Förutsättningar	36
4.3.4	Genomförande	36
4.3.5	Resultat	37
4.3.6	Analys och utvärdering	40
4.3.7	Slutsats	41

4.3.8	Rekommendation	42
5	FALLSTUDIENS DEL II – RESULTAT OCH REKOMMENDATIONER	43
5.1	Analys: Avkortning av bågavstyvare	43
5.1.1	Bakgrund	43
5.1.2	Syfte	44
5.1.3	Förutsättningar	44
5.1.4	Genomförande – Start i Tekla Structures	46
5.1.5	Genomförande – Start i SAP2000	46
5.1.6	Resultat – Start i Tekla Structures	47
5.1.7	Resultat – Start i SAP2000	50
5.1.8	Analys och utvärdering	52
5.1.9	Slutsats	53
5.1.10	Rekommendation	54
5.2	Analys: Förskjutning av tvärbalkar	55
5.2.1	Bakgrund	55
5.2.2	Syfte	55
5.2.3	Förutsättningar	56
5.2.4	Genomförande – Start i Tekla Structures	56
5.2.5	Genomförande – Start i SAP2000	56
5.2.6	Resultat – Start i Tekla Structures	57
5.2.7	Resultat – Start i SAP2000	61
5.2.8	Analys och utvärdering	62
5.2.9	Slutsats	63
5.2.10	Rekommendation	64
5.3	Analys: Laster och lastkombinationer	65
5.3.1	Bakgrund	65
5.3.2	Syfte	65
5.3.3	Förutsättningar	65
5.3.4	Genomförande – Start i Tekla Structures	65
5.3.5	Resultat	66
5.3.6	Analys och utvärdering	68
5.3.7	Slutsats	69
5.3.8	Rekommendation	70
5.4	Analys: Definition av leder	71
5.4.1	Bakgrund	71
5.4.2	Syfte	71
5.4.3	Förutsättningar	72
5.4.4	Genomförande – Start i Tekla Structures	73
5.4.5	Genomförande – Start i SAP2000	73
5.4.6	Resultat	74
5.4.7	Analys och utvärdering	76

5.4.8	Slutsats	77
5.4.9	Rekommendation	77
5.5	Analys: Systemkomponenter	79
5.5.1	Bakgrund	79
5.5.2	Syfte	80
5.5.3	Förutsättningar	80
5.5.4	Genomförande – Start i Tekla Structures	81
5.5.5	Resultat	81
5.5.6	Analys och utvärdering	83
5.5.7	Slutsats	85
5.5.8	Rekommendation	85
6	DISKUSSION	86
6.1	Metodutvärdering	86
6.2	Möjligheter och begränsningar – Tekla Structures och SAP2000	87
6.3	Rekommendationernas användbarhet	87
6.4	Ökad kompatibilitet och integrerad projektering	89
6.4.1	Integration, kommunikation och dokumentation	89
6.4.2	Integrerad projektering – Iterativ och dynamisk	90
6.4.3	Potentialer för projektering med kompatibla verktyg	90
6.4.4	Avslutande reflektioner	91
7	SLUTSATSER	92
7.1	Valet av metod	92
7.2	Den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000	92
7.3	Rekommendationernas användbarhet	93
7.4	Ökad kompatibilitet förändrar konstruktionbranschens projektering	93
7.5	Rekommendationer för exportering	94
7.6	Rekommendationer för integrerad projektering	94
7.7	Fortsatta studier	95
8	REFERENSER	97
BILAGA I: DETALJERAD REDOVISNING AV FALLSTUDIENS GENOMFÖRANDE		
BILAGA II: HANDBOK FÖR EN INTEGRERAD ARBETSPROCESS MELLAN PROJEKTÖR OCH KONSTRUKTÖR		

Förord

Examensarbetet genomfördes i samarbete med Reinertsen AB, Göteborg, under våren 2012. Arbetet ingår som ett avslutande kursmoment i byggingenjörsutbildningen på Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg. Programmet omfattar 180hp, varav 15hp utgörs av examensarbetet.

I enlighet med examensarbetets uppgiftsbeskrivning började projektet i en studie och utredning om hur en kompatibel lösning, så som Tekla Structures och SAP2000, bör hanteras för att uppnå effektiv och kvalitetssäker tillämpning. Alltefter insikterna i ämnet ökade växte tankar och slutsatser fram som var av intresse att inkludera i arbetet. Det innebar att arbetets frågeställning utökades så att insikterna om vad kompatibla lösningar kan innebära för dagens projektering kunde ingå.

Vi vill rikta ett stort tack till Reinertsen AB för möjligheten till ett intressant examensarbete på plats hos företaget i Göteborg. Framförallt vill vi tacka våra handledare, Emanuel Trolin och Keyvan Zeidi. De har bidragit med värdefull vägledning och omfattande responsarbete under projektets gång. Vi vill också rikta ett stort tack till vår handledare från Chalmers, Rasmus Rempling. Han har bidragit både med omfattande responsarbete och värdefulla råd om rapportens utformning och projektets riktning. Även ett tack till Björn Engström, Chalmers, för värdefulla råd om rapportutformningen.

Under projektet fick support av programleverantörerna till Tekla Structures och SAP2000. Ett tack till Peter Holmberg, Tekla Västerås, och Jan Holdhus, EDRMedeso. Utöver supportinsatser har de även bistått med värdefull granskning av de resultat som tagits fram i arbetet.

Avslutningsvis återstår att tacka Tekla Västerås och EDRMedeso som sponsrat licenser i programvarorna. Ett särskilt tack till Tekla Västerås som även sponsrat med utbildning i Tekla Structures genom kursen Basic Steel Training Course.

Göteborg juni 2012

Martin Nilsson

Martin Svennered

Definitioner och begrepp

Nedan följer en kort beskrivning av vad rapporten syftar till när den tillämpar respektive definition, förkortning eller begrepp.

Analyslinje	Linje som beskriver ett element i analysmodellen.
BIM	Building Information Model/Modelling i den meningen att det är en 3D-modell med information kopplad till modellens och dess komponenter.
Analysmodell	3D-modell som består av analyslinjer och noder i programmet Tekla Structures. För benämning i SAP2000 se <i>systemmodell</i> .
Dimensioneringsprocess	Den process som beskriver i vilket ordning och på vilket sätt som dimensionering fallstudien.
Element	Konstruktionsdel i 3D-modell. Avser pelare och balkar.
Exporteringsprocess	Process där en 3D-modell exporteras mellan programmen Tekla Structures och SAP2000.
Grundmodell	3D-modell av en brokonstruktion som används i fallstudien.
Kompatibel lösning	En lösning som medger kompatibilitet mellan två programvaror. Möjliggör att information kan utbytas mellan programvarorna.
Konstruktör	Den roll som anses ansvara för analys och dimensionering i projekteringsarbetet.
Modelleringstekniker	Olika sätt att modellera i Tekla Structures och SAP2000.
Programfunktion	Funktioner i programvarorna Tekla Structures och SAP2000 som inte innebär modellering.
Programlänk	Programvarufunktion som automatiserar export och import av 3D-modeller mellan programvaror.
Projektör	Den roll som anses ansvara för modellering och upprättande av ritningsunderlag i projekteringsarbetet.
Referenslinje	Linje mellan två punkter kring vilken element positioneras vid modellering.
Referensmodell	3D-modell används som modelleringsunderlag i projektering.
Smart modell	Modell som är fullt kompatibel i både Tekla Structures och SAP2000.

Systemlinje	Linje som beskriver ett element i systemmodellen.
Systemmodell	3D-modell som består av systemlinjer och noder i programmet SAP2000. För benämning i Tekla Structures se <i>analysmodell</i> .
Tvärsnittlista	En grupp av tvärsnittsdimensioner som används vid dimensionering i SAP2000.
Verktyg	Det redskap som projektör respektive konstruktör använder i deras arbete om att projektera respektive dimensionera.

1 Inledning

I konstruktionsbranschens projektering har projektör och konstruktör varsin tydlig roll där deras arbeten påverkar varandras i högsta grad. Projektörens uppgift är att ta fram ritningar till projektet medan konstruktören utför beräkningar för analys och dimensionering. Det är projektörens och konstruktörens uppgift att tillsammans i projekteringen uppfylla beställarens krav.

Datorn har länge varit ett värdefullt verktyg för projektörens och konstruktörens arbete. Programvarorna är idag specialiserade och inriktade på modellering eller beräkning. Ett väl fungerande modelleringsprogram saknar exempelvis stöd för analys och dimensionering. Möjligheterna till att utbyta information mellan programmen är också begränsad. Det gör att projektör och konstruktör använder separata programvaror, arbetar åtskilt och behöver arbeta utifrån varsin modell.

Att projektören och konstruktören behöver skapa varsin modellen innebär onödig dubbelmodellering. Det innebär också att de behöver manuellt utbyta information för att deras modeller ska vara uppdaterade och motsvara projekterings aktuella förutsättningar. För att utbyta information kommunicerar projektör och konstruktör genom skisser, ritningar och samtal (Zeidi, 2012). Vid ändringar i projektet behöver både projektör och konstruktör genomföra ändringen och återigen meddela varandra.

Genom de senaste årens utveckling av kompatibla filformat finns nu möjligheten till att utbyta information mellan projektörens och konstruktörens programvaror. Ett exempel på en kompatibel lösning är den som 3D-modelleringsprogrammet Tekla Structures och analys- och dimensioneringsprogrammet SAP2000 utgör. Kompatibiliteten öppnar för möjligheter att endast en 3D-modell behöver modelleras och användas i projekteringen och minskar behovet av dubbelmodellering och informationsutbyte genom skisser, ritningar och samtal.

1.1 Bakgrund

Kompatibla lösningar ställer projektör och konstruktör inför en ny arbetssituation. Den nya arbetssituationen innebär att de båda kommer närmare varandra i ett mer gemensamt arbete. Den tidigare åtskilda projekteringen fogas nu samman till en integrerad.

Med ökad kompatibilitet och integration uppkommer möjligheter för projektör och konstruktör att påverka den gemensamma modellen med sina verktyg. Arbetsformen innebär också att vissa av de tidigare åtskilda arbetsuppgifterna nu kan utföras av såväl projektör som konstruktör.

Kompatibla lösningar kan bidra med ökad effektivitet och kvalitetssäkerhet. Det ställer dock krav på hög kunskap i hur det egna arbetet ska utföras och förståelse för vad det kan ha för följder. Hanteras inte samarbetet rätt kan projektör och konstruktör

dra åt olika håll. Det kan i sin tur leda till ineffektivitet och brister i kvalitetssäkerheten i projekteringen.

För att uppnå effektivitet och kvalitetssäkerhet i en integrerad projektering krävs tydliga riktlinjer för hur rollernas arbete ska fördelas och utföras. Riktlinjerna bör svara på vem av projektör och konstruktör som ska utföra gemensamma moment, när de ska utföra och på vilket sätt de ska utföras. Det är också viktigt att riktlinjerna är lättillgängliga för att tillämpningen av dem ska bli effektiv. Därför finns det ett behov att göra dem tillgängliga i en handbok.

Integrerad projektering med kompatibla lösningar på verktygsnivå öppnar upp för möjligheter för dagens sätt att projektera. Verket påverkar hur rollens arbete fördelas och utförs som utgör grunden för hur rollerna arbetar tillsammans i en integrerad process. Den integrerade processen bildar kärnan i projekteringsarbetssätt som är grunden för arbetssättet i konstruktionsbranschen. Kan kompatibla lösningar innebära ett nytt sätt att projektera?

1.2 Syfte

Projektets syfte var att effektivisera och kvalitetssäkra en integrerad projektering vid tillämpning av den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000. Genom att utreda kompatibilitetens möjligheter till informationsutbyte samt påverkan på projektör och konstruktörens samspel utformades rekommendationer för effektivt och kvalitetssäkert utförande. För att uppnå en effektiv tillämpning av rekommendationerna sammanställdes de till en handbok.

Projektet syftade även till att undersöka vad en ökad kompatibilitet samt integrerad projektering kan innebära för dagens projekteringsarbete inom konstruktionsbranschen.

1.3 Frågeställning

Syftet besvarades utefter följande problemformulering:

- Hur kan och hur bör exporteringprocessen tillämpas för att uppnå effektiv och kvalitetssäker hantering?
- Hur bör den kompatibla lösningen tillämpas samt ansvarsfördelas mellan projektör och konstruktör för att en effektiv och kvalitetssäker integrerad projektering ska uppnås?
- Vad innebär ökad kompatibilitet mellan programvaror och en integrerad arbetsprocess för dagens projekteringsarbete i konstruktionsbranschen?

1.4 Metodbeskrivning

För att möta definierat syfte och frågeställning har en förstudie och en fallstudie tillämpats i projektet. I följande två kapitel beskrivs innehållet för respektive metod.

1.4.1 Förstudie

En förstudie tillsattes för att erhålla ökad kunskap och förståelse för dagens projekteringsarbete. Den användes för att bidra med bakgrund och förståelse för kompatibilitetens betydelse för projektering. Förstudien tillsattes även för att förbereda fallstudiens genomförande och efterföljande utformning av rekommendationer. Förstudien omfattade en litteraturstudie, samtal och intervjuer med personer i branschen samt utbildning i programvarorna Tekla Structures och SAP2000. I förstudien ingick även modellering av den brokonstruktion som låg till grund för fallstudien.

Litteraturstudien, samtal och intervjuer användes för att bidra med ökad förståelse för dagens projektering, för utformning av rekommendationer samt för kompatibilitetens betydelse i projektering. Litteraturstudien bestod av litteratursökningar i bibliotekskataloger, databaser samt på internet. Sökningar resulterade i ett material hämtat från handböcker, kurslitteratur, tidigare utförda examensarbeten, samt material från programtillverkares hemsidor. Samtalen och intervjuerna kompletterade litteraturstudien med material där svårigheter fanns att hitta litteratur.

Fallstudien förbereddes genom utbildning i programvarorna Tekla Structures och SAP2000 samt genom modellering av en brokonstruktion. Utbildningen i Tekla Structures genomfördes hos Tekla Västerås och utbildningen i SAP2000 internt hos Reinertsen, Göteborg. Utöver utbildningen användes även datorprogrammets hjälpavsnitt och manualer för öka kunskapen om tillämpningen av programmen.

Efter avslutad utbildning modellerades den 3D-modell av en brokonstruktion som användes i fallstudien. Modelleringen utfördes i Tekla Structures och 3D-modellen avsåg en bågbro i stål. Brokonstruktionen benämns i rapporten för *grundmodellen* och för utförligare beskrivning av bron med gällande förutsättningar hänvisas till läsning i kapitel 3.4.

1.4.2 Fallstudie

För att generera ett underlag till utformningen av rekommendationer tillsattes en fallstudie. Fallstudien tillsattes även för att bidra med ökad förståelse för vad en kompatibel lösning kan innebära för dagens projektering.

Fallstudien innebar att den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000 praktiskt tillämpades utifrån projektörens och konstruktörens arbetssituationer. I fallstudiens exporterades grundmodellen mellan projektör, konstruktör och deras

verktyg och innebar en utredning om den kompatibla lösningens möjligheter och begränsningar i informationsutbyte.

Fallstudien bestod av två delar. Den första delen fokuserade på att utreda den kompatibla lösningens effektivitet och kvalitetssäkerhet vid informationsöverföringar. Fallstudiens andra del behandlade frågan om hur det integrerade arbetet för projektör och konstruktör bör utföras för att uppnå effektiv och kvalitetssäker projektering.

Under fallstudien erhöles erfarenheterna om praktiska detaljer kring den kompatibla lösningen tillämpning. Tillsammans med delar av fallstudiens dokumentering och utformade rekommendationer sammanställdes en handbok.

För hantering av programvarorna fortsatte förstudiens tillämpning av programmens manualer och hjälpavsnitt. Även samtal och mailkonversationer med teknisk support utfördes för att lösa problem som uppstod längs vägen.

1.5 Avgränsningar

Projektet behandlades utifrån projekteringen skeden för system- och detaljprojektering. Det utgick ifrån nyprojektering av en konstruktion och beaktade aspekten ändringar som uppstår under projekteringsarbetets gång.

Praktisk tillämpning av fallstudien och utformandet av rekommendationer utgick ifrån den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000. Den del av arbetet som beaktade kompatibilitetens betydelse för dagens projektering använde den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000 som modell för kompatibla lösningar.

Rekommendationerna om tillämpning och ansvarsfördelning omfattar aspekter gällande vem av projektör och konstruktör som ska utföra ett visst arbetsmoment och när i projekteringen det ska utföras. Rekommendationerna är utformade utifrån att projektör och konstruktör är två olika aktörer. Rekommendationer gör inte anspråk på hur kommunikation ska utföras vid överlämnandet av information mellan projektör och konstruktör.

Fallstudien begränsades till att använda en modell i arbetet. Modellen utgjordes av en brokonstruktion bestående av balkar, pelare och hängstag i stål med symmetriska tvärsnitt. Vid analys och dimensionering beaktades statiska laster så som egenvikt och variabel vertikal last.

I fallstudiens andra del användes endast programlänkens funktion *Export* för exportering mellan programmen. Den behandlade aspekter utifrån fem utvalda arbetsmoment i projekteringsarbetet.

Granskning av 3D-modellen i fallstudiens analyser fokuserade inte på exakta beräkningsresultat. Främst granskades modellen utifrån dess sammansättning. Vid analys och dimensionering beaktades beräkningsresultat utifrån modellens deformation vid analys i SAP2000.

2 Projektering och verktyg

I följande kapitel redogörs de resultat som kom ur litteraturstudie och genomförda samtal och intervjuer. Kapitlet innehåller en introduktion till projektering i konstruktionsbranschen och ger en beskrivning av rollerna projektör och konstruktör, datorstödd projektering, kompilerbarhet och integrerad projektering.

2.1 Produktframställningsprocessen

Projektering ingår i ett sammanhang som kallas för produktframställningsprocessen (Hanson, Olander, & Christiansson, 2009). Projektering handlar om att översätta idéer om produkter till ett underlag som gör det möjligt framställa dem. Det handlar om att fastställa hur en produkt ska se ut och upprätta ritningar och anvisningar för hur de ska produceras (Nordstrand & Révai, 2002).

Produktframställningsprocessen är en generell struktur för vilka stadier som ingår vid framställning av en produkt. I Figur 1 visas kopplingen mellan de olika stadierna. I processen utgör projekteringen länken mellan *utredning och program* och framställning av produkten.



Figur 1: Generell struktur över produktframställningsprocessen. Projektering är länken mellan utredning och program och framställning.

2.2 Projekterings olika stadier

För disciplinen konstruktion, precis som för andra discipliner såsom arkitektur och installation, kan projekteringen delas in i olika stadier. Stadiernas benämningar kan variera mellan disciplinerna, men en som används i byggbranschen är: gestaltning, systemutformning och detaljutformning (Nordstrand & Révai, 2002).

Inom disciplinen konstruktion är en mer förekommande benämning av projekteringsstadierna: utredning, systemprojektering och detaljprojektering. Produkten ur systemutformningen är system- och förslagshandlingar och produkten ur detaljutformningen är bygghandlingar (Zeidi, 2012)

Projekteringsstadierna anpassade för konstruktionsbranschens benämningar redovisas i Figur 2 på nästkommande sida.



Figur 2: Projekteringsstadier för konstruktion. Utredning, systemprojektering och detaljprojektering resulterar i bygghandlingar.

Projekteringsstadierna har olika funktion och fokus i projekteringen. Beroende på vilken disciplin skiljer sig arbetet åt. En generaliserad beskrivning av stadierna är att i gestaltning och utredning tas ett antal förslag fram och utreds. I systemprojekteringen väljs ett av förslagen ut och vidareutvecklas till ett underlag för anbudsräkning. I detaljprojekteringen utreds systemhandlingarna i detalj och resulterar i bygghandlingar. Bygghandlingarna utgörs av ritningar och tekniska beskrivningar.

2.3 Projektering i konstruktionsbranschen

Projekteringsarbetet i konstruktionsbranschens handlar om att föreslå, utforma och dimensionera konstruktioners bärande system och detaljer. Ritningar och beskrivningar visar hur konstruktioner ska uppföras samt vilka material och system som ska användas. Projekterings arbetsuppgifter utgörs av ritning, modellering och beräkning. Uppgifterna utförs av projektör och konstruktör, vilka är de två huvudsakliga rollerna i projekteringen.

I projekterings utredning är det vanligtvis konstruktören som är involverad och driver arbetet. Projektören tillkommer under system- och detaljprojektering och tillsammans med konstruktören framställs ett förslag. Vid ett färdigt förslag upprättar projektören bygghandlingar (Zeidi, 2012).

I följande kapitel ges en beskrivning av arbetet i system- och detaljprojekteringen. Beskrivningen visar en vanligt förekommande projekteringsstruktur inom konstruktionsbranschen vid tillämpning av modellerings- och beräkningsprogram som saknar kompatibilitet. Strukturen är förenklad och tar inte hänsyn till ändringar som uppstår under arbetets gång.

2.3.1 System- och detaljprojektering

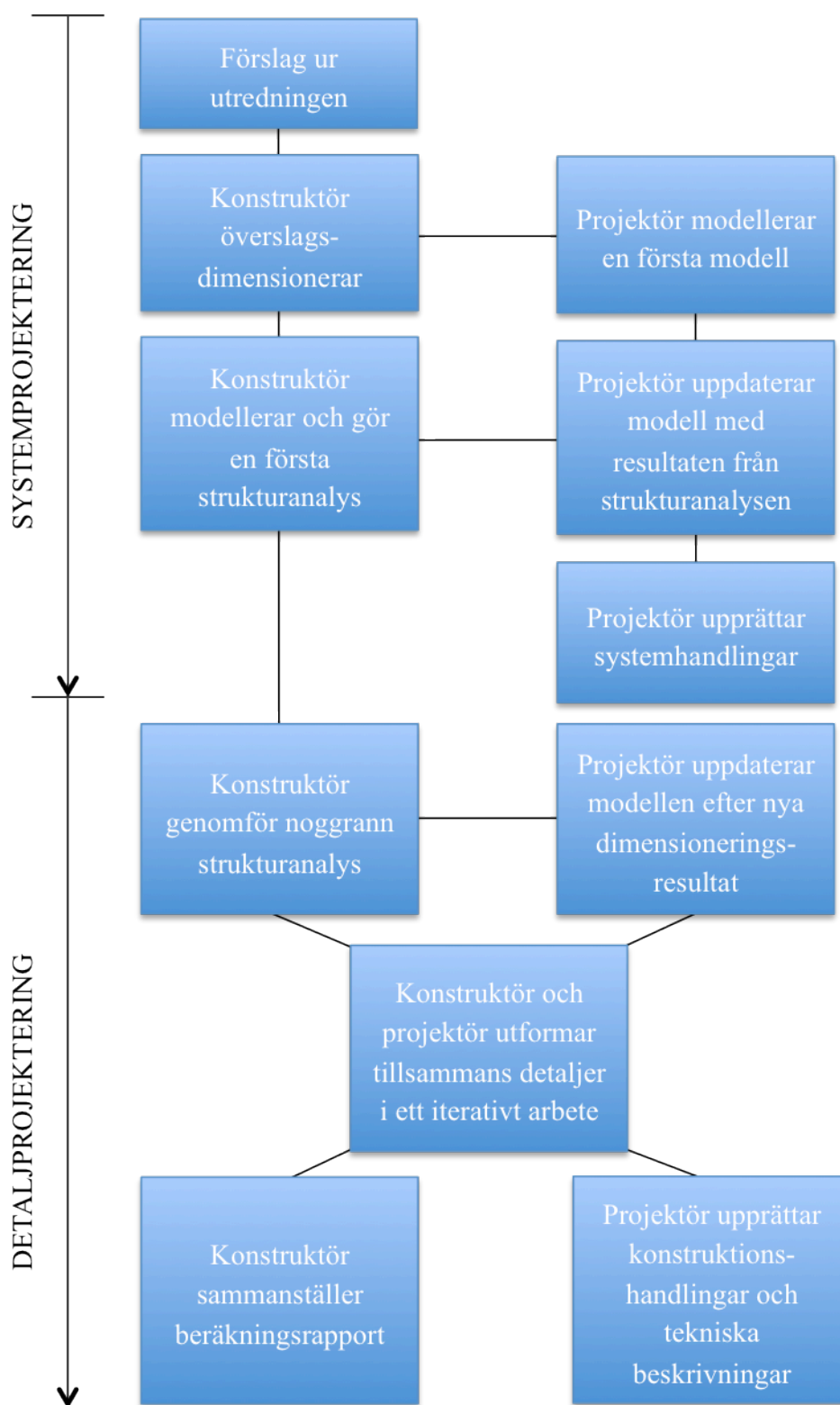
Systemprojekteringen startar vanligtvis med att konstruktören vidareutvecklar det förslag som i samråd med arkitekt och beställare tagits fram i utredningen. I utredningen har material och bärande system föreslagits som är förutsättningar för konstruktörens fortsatta arbete i systemprojekteringen. Konstruktören börjar vanligen arbetet med att dimensionera det bärande systemet utifrån statiska laster. Dimensioneringen är överslagsmässig och baseras på tidigare erfarenheter (Engström, 2007).

Systemet och dimensionerna lämnas därefter över till projektören som upprättar en första modell. Modellen ligger till grund för upprättandet av systemhandlingar. Handlingarna består av ritningar och tekniska beskrivningar. Ritningarna redovisar pelare, balkar och bjälklag för konstruktionens bärande system i plan och sektion (Zeidi, 2012). Tekniska beskrivningar består av materialspecifikationer, beräkningsförutsättningar och utredningar om ljud och brand.

Detaljprojekteringen vidareutvecklar underlaget från systemprojekteringen i detalj. Underlaget bearbetas på nytt med större noggrannhet. Arbetet innebär att skapa en exakt modell som innehåller den information som ligger till grund för produktion. Arbetet börjar med att konstruktören på nytt behandlar konstruktionens bärande system. I en noggrann strukturanalys verifieras ursprungliga dimensioners kapacitet i detalj utifrån exakta förutsättningar (Engström, 2007). Projektören upprättar en detaljerad modell enligt konstruktörens beräkningsresultat.

När det bärande systemet fastslagits utformas och dimensioneras detaljer för sammankoppling av konstruktionens element. I nära samråd mellan projektör och konstruktör behandlas detaljer som upplag, anslutningar, armering samt olika typer av förband (Zeidi, 2012). Projektörer fortsätter arbetet med att upprätta konstruktionshandlingar.

I Figur 3 (se sida 8) har system- och detaljprojekterings moment och arbetsfördelning sammanställts till ett flödesschema. Sammanställningen är en förenklad bild av samspelet mellan projektör och konstruktör. Figuren kan tolkas som en linjär process där arbetet sker parallellt. Många gånger är projekteringen mer komplex där processen varken är linjär eller parallell.



Figur 3: Flödesschema över system- och detaljprojektering i konstruktionsbranschens projektering. Flödesschemat är en förenklad bild av samspelet mellan projektör och konstruktör. Strukturen återspeglar en projektering där kompatibilitet saknas mellan projektörens och konstruktörens verktyg.

2.4 Projektering – ett arbete fördelat på två roller

Projekteringsarbetet utförs av rollerna projektör och konstruktör. Beroende på projekteringsstruktur kan rollerna utgöras av en och samma aktör eller vara fördelade på två. Aktörerna som utför rollerna har i regel olika bakgrund och kunskap. Uppgifter om att modellera och beräkna fördelas därför upp. Projektör ansvarar vanligtvis för ritning och modellering och konstruktör analys och dimensionering.

2.4.1 Projektör

Rollen projektören utgörs idag av en aktör som vanligtvis har kunskaper i flera av byggbranschens områden. Bakgrunden har givit aktören grundläggande förståelse i konstruktioners verkningssätt och grundläggande kunskap i beräkning för dimensionering. Bakgrunden har också bidragit till vana av hantering av datorprogram och insikter i produktion.

Projektörens huvuduppgift är att ansvara och upprätta ritningsunderlag som behövs för framställning av en konstruktion. Med sin datorvana är det projektören som är specialist på ritning och modellering och arbetet innebär att med datorn och programvarors hjälp rita och modellera tekniska lösningar. Utöver arbetet med ritning och modellering omfattar projektörens arbete att anbudsräkna, sammanställa materialspecifikationer samt att utforma tekniska beskrivningar om utföranden och material

Projektören utför i viss mån beräkningsarbete. Beräkningsarbetet avser främst överslagsmässiga metoder utifrån statiska laster. Omfattningen av beräkningsarbete varierar med kunskapsnivå och tidigare erfarenheter.

2.4.2 Konstruktör

Konstruktören har generellt sett en bakgrund med djupa teoretiska kunskaper inom beräkning. Den här även en fördjupad förståelse i konstruktioners och ingående elements verkningssätt samt tillämpning av avancerade beräkningsmetoder. Bakgrunden har också bidragit med vana i att metodiskt och analytiskt lösa problem.

Konstruktören utgör den roll i projektering som innebär att vara specialist på beräkning för analys och dimensionering av konstruktioner och dess ingående element. Konstruktören använder ofta sig av olika metoder för beräkning. Till exempel används datorstödd handberäkning och avancerade analys och dimensioneringsprogram. Utöver beräkningsarbetet omfattar konstruktörens arbetsuppgifter att föra teknisk dokumentation i form av beräkningsrapporter.

I konstruktörens projekteringsarbete ingår till viss del modellering. Modellering utförs med syfte att skapa en modell som ligger till grund för analys och dimensionering.

2.5 Projektering, verktyg och kompatibilitet

Projektörens och konstruktörens verktyg för projektering har under ett antal årtionden genomgått en stor förändring. Det gäller även möjligheten till att utbyta information. Utvecklingen har idag tagit branschen till att projektera med 3D-modeller och möjligheter till att överföra information mellan program och aktörer.

I följande kapitel ges en bakgrundsbeskrivning av den utveckling som projekteringsverktyg och kompatibilitet genomgått under de senaste årtionden.

2.5.1 Från penna till 2D-CAD

På 1960-talet var pennan, ritbordet och räknemaskiner en viktig hjälp. Med penna och papper projekterades konstruktioner och resulterade i handritade ritningar. I slutet av 1970-talet introducerades branschen för system som gjorde det möjligt både utföra ritning och beräkningsarbete med datorer. Systemen hade dock begränsningar och vara svåra att hantera (Wikforss, 2003).

Persondatorns intåg på 1980-talet innebar nya möjligheter för projekteringsarbete. Till persondatorn utvecklades ett antal CAD-program (Computer Aided Design) som innebar stor hjälp för det tidigare handritningsarbetet. Ritningar utförda för hand övergick till att mer och mer upprättas med hjälp av datorn.

Den datorstödda projektering hade dock en begränsning som innebar svårigheter i att utbyta information mellan program och aktörer. Det saknades kompatibla filformat och informationsutbytet mellan datorer gjordes med disketter.

Under 1990-talet ökade datorers möjligheter till att utbyta information genom utvecklingen av LAN (Local Area Network) och Internet. Informationsutbytet såväl inom discipliner som mellan discipliner förbättrades till följd ett utvecklingsarbete för kompatibla lösningar. Ett exempel på ett filformat som fick stor tillämpning i projekteringen var det programspecifika formatet DXF (Tarandi, 2003).

2.5.2 Från ritning till modellering

Med ökad kompatibilitet och datorers möjlighet till att kommunicera kunde mer information återanvändas i projekteringen. Tidigare underlag kunde nu användas som underlag för nästa aktörs arbete (Wikforss, 2003).

Under 2000-talet fortsatte utvecklingen av datorer och programvarors prestanda, nätverks och Internets kapacitet samt programvarors kompatibilitet. Utvecklingen av datorers kapacitet har nu lett fram till nya CAD-lösningar som gör det möjligt att projektera med modeller i 3D. Den tidigare ritningsorienterade CAD-projekteringen övergår mer till en modelleringsorienterad (Wikforss, 2003).

Med möjligheten att skapa 3D-modeller med byggdelskomponenter kan nu information kopplas till modellen. Information kopplad till modellen möjliggörs av

filformatet IFC (Industry Foundation Classes). Filformatet beskriver byggdelskomponenter utifrån geometrier, produktstrukturer och specifik information som mått, kostnader och attribut (Tarandi, 2003).

Filformatet IFC är ett resultat av ett utvecklingsarbete för kompatibilitet som påbörjades under 1990-talet (Tarandi, 2003). Filformatet har utvecklats till ett standardiserat filformat kompatibelt med flera av dagens program för projektering.

Med möjlighet till att utbyta information med filformat, samt att samla information till 3D-modeller, uppkommer begreppet BIM och BIM-projektering. I BIM-projekteringen kan olika discipliner arbeta med en gemensam modell. Projekteringen innebär att en 3D-modell kan skapas i ett tidigt skede och som andra discipliner därefter kan importera för fortsatt projekteringsarbete (Zeidi, 2012).

2.6 Moderna verktyg för projektör och konstruktör

Idag baseras projektörens arbete baseras på datorprogram med 3D-modellering där projektören på ett effektivare och mer dynamiskt sätt kan producera ritningar. Effektiva modelleringsfunktioner, modellers kopplingar mellan plan och sektion samt goda visualiseringsmöjligheter bidrar till effektivitet i projekteringen och fel kan i större utsträckning upptäckas i tidiga skeden.

Utvecklingen av BIM tillsammans med avancerade programvaror bidrar till att mycket information kan kopplas till modellen. Projektörens 3D-modell blir mer och mer en informationsbank för projektet information.

Det finns ett flertal 3D-modelleringsprogram som utvecklats med anpassning till olika BIM-funktioner på marknaden. Exempel på 3D-modelleringsprogram som anpassats för BIM är:

- Autodesk - Revit Structures
- Bentley - Microstation
- Tekla - Tekla Structures

Precis som för projektören utförs mycket av konstruktörens arbete idag med datorprogram som stöd. Programmen är av olika slag och konstruktören kan i samma projekt använda sig av flera programvaror. Enklare program kan användas för datorstödd handberäkning där konstruktören manuellt för in beräkningsdata. I avancerade beräkningsprogram kan konstruktioner modelleras i 3D och med hjälp av beräkningsmotorer analyseras och dimensioneras.

Idag möter konstruktörens avancerade verktyg för modellering, analys och dimensionering också en anpassning till BIM. Många av dagens analys- och dimensioneringsprogram har möjligheter till att samla information till modellen (Computers and Structures, 2011). Programmen har även blivit mer kompatibla med andra beräkningsprogram samt mer kompatibla med projektörens verktyg för 3D-modellering.

På marknaden finns ett stort antal avancerade analys- och dimensioneringsprogram. Exempel på analys- och dimensioneringsprogram som anpassats för BIM är:

- Autodesk - Robot
- Bentley - STAAD.Pro
- CSI - SAP2000
- Strusoft - FEM-design.

2.6.1 Tekla Structures

Tekla Structures är ett datorprogram som bland annat används för projekteringsarbetet i konstruktionsbranschen. Programmet är ett BIM-anpassat 3D-modelleringsprogram som är utvecklat av finska Tekla Corporation. Programmet kan skapa kompletta ritningar för både modellen och specifika detaljer och erbjuder möjligheter till visuell granskning.

Från början var programmet utvecklat för stålindustrin, men idag har programmet stöd för modellering av betong- och träkonstruktioner (Tekla Corporation, 2012). Programmet kan användas vid projektering av bygg-, industri och anläggningsprojekt, och har även användning inom tillverkning och byggproduktion.

Med BIM-anpassning har Tekla Structures möjlighet till att upprätta ett stort antal förteckningar genom sammanställning av den information som finns knuten till modellens komponenter. I programmet finns en databas innehållande ett stort antal byggdelskomponenter. Komponenterna omfattar balkar, pelare, plattor och detaljer i olika utföranden, material och dimensioner. I programmet finns även funktioner för att skapa byggdelskomponenter som är anpassade till respektive projekt.

Tekla Structures är kompatibelt att utbyta information med direkt BIM-anpassade lösningar. Informationsutbytet mellan discipliner uppnås till stor del filformatet IFC. Det finns även lösningar anpassade till specifika programvaror inom disciplinen. Exempelvis kan programmet utbyta information med ett stort antal program för analys och dimensionering (Tekla Corporation, 2012).

2.6.2 SAP2000

SAP2000 är ett BIM-anpassat 3D-modelleringsprogram anpassat för analys och dimensionering av stål- och betongkonstruktioner. Programmet är utvecklat av det amerikanska företaget Computer and Structures (CSI) och används inom bygg-, industri-, offshore och anläggningsprojekt (Computers and Structures, Inc., 2012).

SAP2000 kan användas av konstruktören för hantering av statiska analyser och avancerade dynamiska analyser. Programmet har stöd för dimensionering utifrån ett antal beräkningskoder och hanterar lasttyper som exempelvis: egentyngd, vindlaster, variabla laster samt våg-, accelerations- och jordbävninglaster. Resultatet av analys-

och dimensionering redovisas grafiskt i modellen med hjälp av färgkodning, redovisade lasteffekter och redovisade deformationer.

Programmet har en databas med förprogrammerade stålprofiler i olika dimensioner och materialkvalitéer. Programmet är kompatibelt att utbyta information med programvaror för projektering och beräkning (Computers and Structures, 2011).

2.7 Kompatibla filformat och programlänkar

Kompatibla verktyg innebär att programvaror kan kommunicera och utbyta information. Idag finns möjligheter för projektör och konstruktör att utbyta information mellan respektives verktyg. Informationsutbytet uppnås av kompatibla filformat och programlänkar.

Med kompatibla filformat kan information manuellt exporteras och importeras mellan programvaror. Exempel på kompatibla filformat för manuell överföring är IFC, IGES och CIS/2 (Tekla Corporation, 2012). Till skillnad från IFC är CIS/2 utvecklat specifikt för att utbyta information om stålkonstruktioners analysmodeller (Tekla Corporation, 2012).

Programlänkar är insticksprogram utvecklade och anpassade till specifika programvaror (Tekla Corporation, 2012). Programlänkarna bygger på ett gränssnitt som kallas ”Open API” (Open Application Programming Interface). Syftet med ”Open API” är att programvarutillverkare kan utveckla produkter, såsom insticksprogram, för att skapa kompatibilitet med andra programvaror och integrera dem till sin egen datormiljö. Programlänkar använder specifika filformat som automatiserar informationsutbytet mellan programmen (Computers and Structures, Inc., 2012).

Exempel på programvaror som har möjlighet att överföra information med kompatibla filformat och programlänkar är:

- Tekla Structures – Robot Structural Analysis, SAP2000, STAAD.Pro
- Revit Structures – Robot Structural Analysis, SAP2000
- Microstation – STAAD.Pro

2.7.1 Tekla Structures och SAP2000

Tekla och CSI har utvecklat lösningar för kompatibilitet mellan produkterna Tekla Structures och SAP2000. Informationsutbytet kan manuellt utföras med filformaten IFC och CIS/2 eller integrerat med en specifik programlänk (Tekla Corporation, 2012).

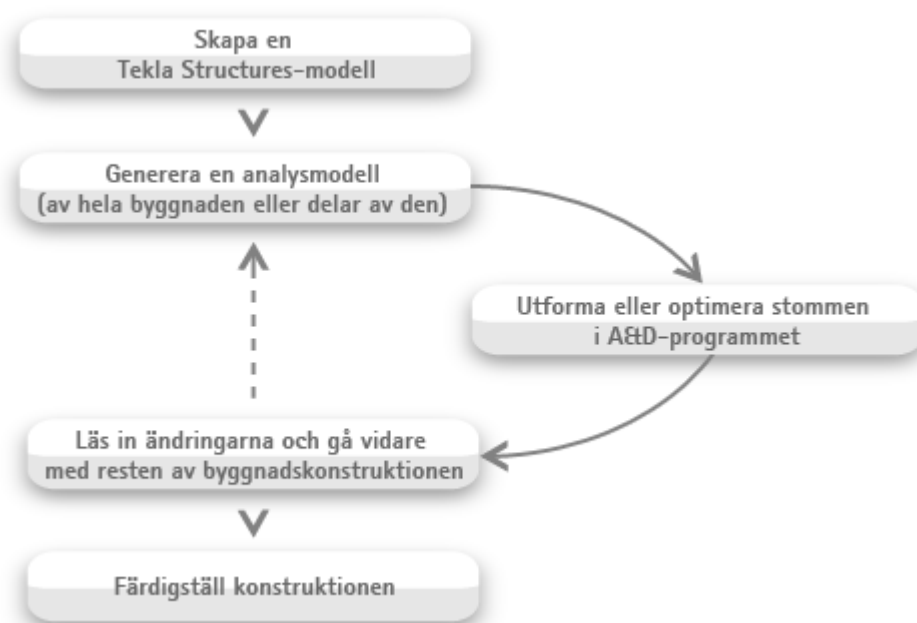
Informationen som kan överföras varierar med vilken riktning informationsutbytet genomförs. Från Tekla Structures kan bland annat information om noder, infästningar, laster, element, material och tvärsnittsdimensioner överföras. Från SAP2000 kan till

exempel ändrade tvärsnittssektioner och analysresultat överförs (Computers and Structures, Inc., 2012).

2.8 Integrerad projektering

Kompabilitet mellan projektören och konstruktörens programvaror ger möjlighet till ett informationsutbyte som innebär att en enda 3D-modell kan användas i projekteringen. Kompabiliteten innebär att projektörens och konstruktörens arbete smälter samman till en integrerad projektering (Zeidi, 2012).

Ett exempel på kompabilitet som möjliggör integrerad projektering är den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000. Med kompabiliteten kan den projekteringsstruktur tillämpas som beskrivs utifrån i Figur 4. I projektörens verktyg kan en första modell skapas som sedan kan exporteras till konstruktörens verktyg för analys och dimensionering. Dimensioneringsresultatet kan därefter importeras till projektörens modell för färdigställande av konstruktion eller återupprepad exportering för analys och dimensionering (Tekla Corporation, 2012).



Figur 4: Schematisk bild som visar på möjlig projekteringsstruktur i konstruktionens projektering vid tillämpning av kompatibla programvaror för modellering och beräkning (Tekla Corporation, 2012).

3 Beskrivning av fallstudiens genomförande

Som presenterats i inledande metodbeskrivning bestod fallstudien av två delar. I den första undersöktes den kompatibla lösningens effektivitet och kvalitetssäkerhet vid informationsöverföringar. I fallstudiens andra del behandlades frågor om hur integrerat arbete mellan projektör och konstruktör borde hanteras för att uppnå effektivitet och kvalitetssäkerhet.

I kapitlet ges en beskrivning av fallstudiens genomförande. Kapitlet omfattar en introduktion till fallstudiens innehåll och upplägg, en beskrivning om rekommendationernas utformning samt en presentation av fallstudiens förutsättningar.

3.1 Analyser och exportering

Fallstudien utgjordes ett antal understudier. Vid respektive analys exporterades grundmodellen mellan projektör, konstruktör och deras verktyg. I rapporten benämns understudierna för analyser. I fallstudiens första del genomfördes tre analyser för olika sätt att exportera grundmodellen på. I fallstudiens andra del valdes fem modelleringstekniker och programfunktioner ut för att undersöka hur de tolkades vid exportering.

Analyserna i fallstudiens första del (Del I) genomfördes analyser både för programlänkens funktioner exportering och exportering genom manuell hantering. Analyser som ingick var:

- Programlänk - *Export*
- Programlänk - *Open Application*
- *Manuell export*

Analyserna i fallstudiens andra del (Del II) valdes att utföras med programlänkens funktion *Export* och de modelleringstekniker och programfunktioner beaktades var:

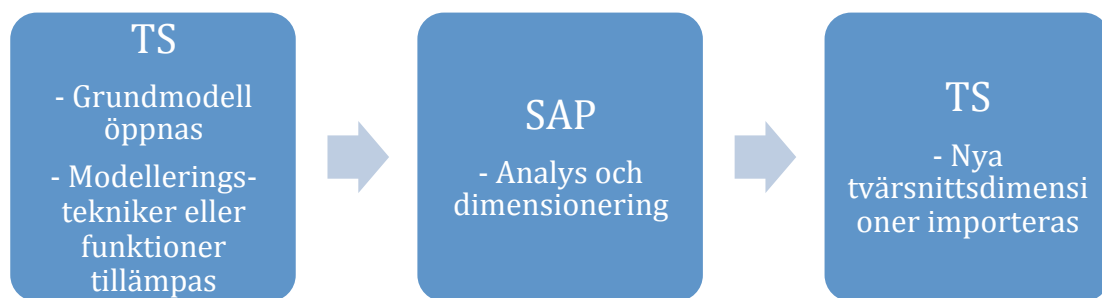
- Avkortning av element
- Förskjutning av element
- Modellering av systemkomponenter
- Definition av leder
- Definition av laster och lastkombinationer

I fallstudiens första del exporterades grundmodellen enligt den exporteringsprocess som beskrivits i kapitel 2.8. Processen innebar att grundmodellen öppnades i Tekla Structures varefter en analysmodell skapades i samma program. Analysmodellen exporterades till SAP2000 och behandlades med analys och dimensionering. Efter nya tvärsnittsdimensioner exporterades modellen till Tekla Structures och nya dimensioner lästes in. I Figur 5 redovisas ett flödesschema som beskriver exporteringsordning och grundmodellens behandling i respektive program.

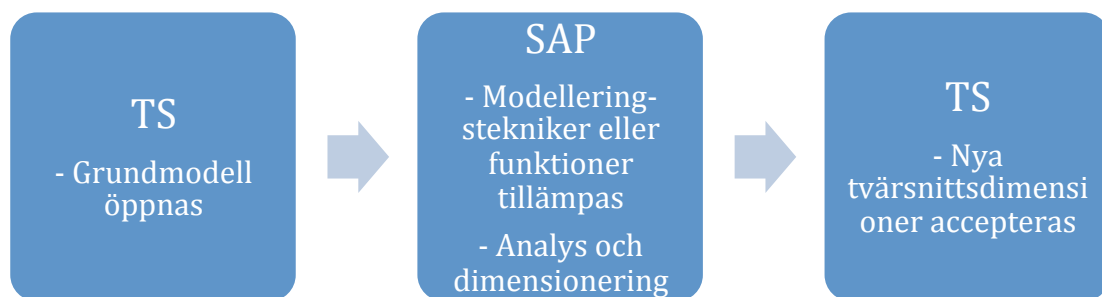


Figur 5: Flödesschema över exporteringsordning och behandling av grundmodellen i fallstudiens första del.

Exportering och tillämpning av modelleringstekniker och programfunktioner i fallstudiens andra del bestod av två exporteringsprocesser. Exporteringsprocessen med tillhörande tillämpning av modelleringstekniker och programfunktioner kan beskrivas utifrån Figur 6 och Figur 7. Vid första genomförandet tillämpades avsedd modelleringsteknik eller programfunktion i Tekla Structures. Vid det andra tillämpades det i SAP2000. Beskriven ordning gäller för studerade tekniker och funktioner utom *modellering av systemkomponenter*. SAP2000 har inte stöd för analys och dimensionering av komponenter.



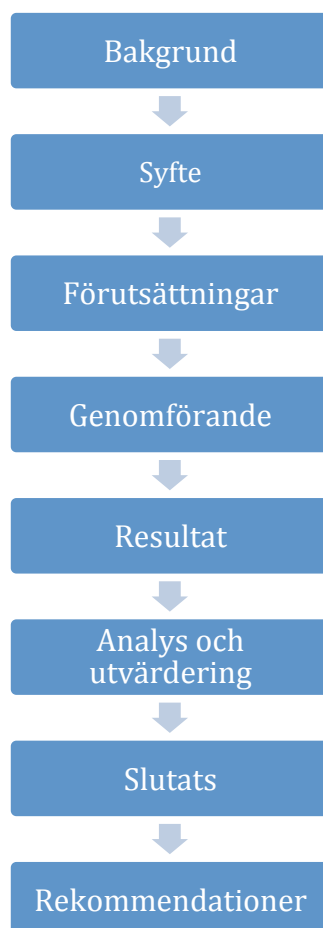
Figur 6: Flödesschema över exporteringsordning och behandling av grundmodellen i fallstudiens andra del, behandling i Tekla Structures.



Figur 7: Flödesschema över exporteringsordning och behandling av grundmodellen i fallstudiens andra del, behandling i SAP2000.

3.2 Analysernas upplägg

För att skapa kontroll och struktur i analysernas genomföranden upprättades en ordning som beskrivs utifrån Figur 8. Strukturen syftade till att skapa fokus i analysernas arbete så att de behandlades på ett likvärdigt och konsekvent sätt.



Figur 8: Innehållstruktur för att skapa kontroll på och behandling av materialet som genereras i fallstudien.

3.3 Från resultat till rekommendationer

Fallstudien tillämpades för att generera ett resultat om den kompatibla lösningens möjligheter och begränsningar i informationsutbyte. För generera resultat vid rätt skeden i exporteringsprocessen utformades ett antal hållpunkter. Hållpunkterna valdes utefter vad som ansågs kritiska skeden i exporteringsprocessen. Hållpunkterna som utformats var:

- Vid skapande av en analysmodell i Tekla Structures
- Efter grundmodellens importering till SAP2000
- Efter att modellen genomgått dimensionering i SAP2000

- Då modellen och dimensioneringsresultat importerats tillbaka till Tekla Structures

Resultatet om möjligheter och begränsningar behandlades med en efterföljande analys och utvärdering utifrån kriterierna effektivitet och kvalitetssäkerhet. Med effektivitet avsågs aspekter som innebar litet behov dubbelarbete eller manuell handpåläggning i projektören och konstruktörens samspel. Vad som avsågs med kvalitetssäkerhet var risker i informationsutbytet som innebar bristande redovisning av information och bristande överföring av information och som kunde resultera i felaktiga ritningar eller beräkningsresultat.

Utvärderingskriterierna viktades och aspekter om kvalitetssäkerhet ansågs väga tyngre än aspekter om effektivitet. Anledningen till följande viktning grundades i att kvalitetssäkerhet ansågs som ett grundläggande krav och för att kvalitetssäkerhet ansågs till ökad effektivitet.

Utifrån slutsatser ur analys och diskussion utformades rekommendationer för tillämpning av exporterande samt för projektörens och konstruktörens samarbete i en integrerad projektering. Rekommendationerna för fallstudiens första del avsåg hur exporterande och importerande bör utföras för att uppnå effektivitet och kvalitetssäkerhet. För fallstudiens andra del översattes slutsatserna till rekommendationer utifrån följande fyra aspekter:

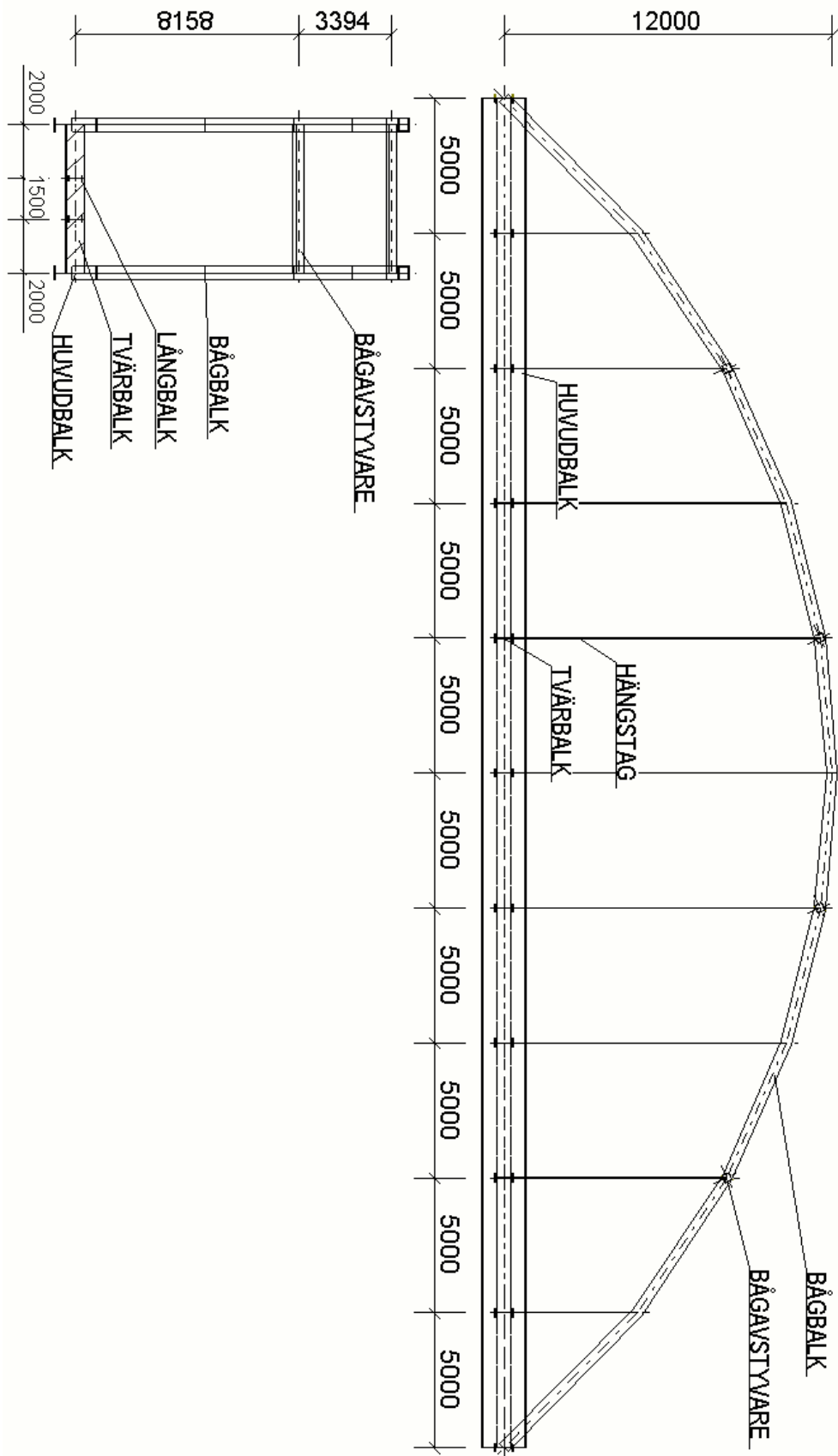
- Vem av projektör och konstruktör bör utföra avsedd aspekt
- På vilket sätt bör aspekten utföras i respektive program
- När i exporterings- och projekteringsprocessen bör den utföras
- Vem bör ansvara för överlämning av information vid bristande informationsöverföringar

3.4 Fallstudiens förutsättningar

I följande kapitel presenteras indata och förutsättningar som ligger till grund för modellering av brokonstruktionen och för fallstudiens genomförande.

3.4.1 Grundmodellens geometri

I fallstudien användes en 3D-modell av en brokonstruktion. Brokonstruktionen togs fram i samband med projektet och avsåg en bågbro i stål. Konstruktionen bestod av I-balkar, cirkulära solida hängstag och rektangulära profiler. Element, mått och sammansättning av visas i Figur 9.



Figur 9: Figur över grundmollens sammansättning, ingående element och mått.

3.4.2 Profiler

Brokonstruktionens huvudbalkar utformades som svetsade profiler. Konstruktionens tvär- och långbalkar utgjordes av valsade HEA- respektive IPE-profiler. Hängstagens var cirkulära solida profiler och bågbalkar respektive bågvästare var rektangulära VKR-profiler. Samtliga profiler var av symmetriska tvärsnitt.

Standardprofilerna för tvär- och långbalkar samt för bågbalkar och bågvästare fanns i Tekla Structures bibliotek för profiler. Däremot saknades profiler för huvudbalkar, hängstag och bågbalkar. För saknade profiler skapades ursprungliga tvärsnitt i Tekla Structures.

För effektiv hantering av dimensioneringen i SAP2000 skapades tvärsnittlistor. Listorna innebar ett urval av tvärsnittsdimensioner som respektive element kunde anta vid analys och dimensionering.

Fallstudien begränsades till ett antal tillåtna dimensioner för respektive konstruktionsdel vid dimensionering. I följande tabeller ges en sammanställning av dimensioner på profiler som använts vid dimensionering av grundmodellens element. Ursprungliga dimensioner har markerats som fetstilt i respektive tabell. Mått anges i millimeter.

Tabell 1: Tvärsnittsdimensioner för grundmodellens huvudbalkar. Huvudbalkarna utfördes som svetsade I-profiler. Ursprunglig dimension markeras som fetstil text.

Livhöjd h_w	Livtjocklek t_w	Flänsbredd b_f	Flänstjocklek t_f
1500	20	300	30
1500	20	350	30
1500	20	350	35
1500	20	400	35
1500	20	400	40
1500	20	450	40
1500	20	500	40

Tabell 2: Tvärsnittsdimensioner för grundmodellens bågbalkar. Bågbalkarna utformades som rektangulära profiler. Ursprunglig dimension markeras som fetstil text.

Livhöjd h_w	Livtjocklek t_w	Flänsbredd b_f	Flänstjocklek t_f
300	10	450	10
300	15	450	15
350	15	500	15
350	20	500	20
390	20	500	20
400	20	600	20
400	25	600	25
400	30	600	30

Tabell 3: Tvärsnittsdimensioner för grundmodellens hängstag. Hängstagens utformades som cirkulära solida profiler. Ursprunglig dimension markeras som fetstil text.

Diameter \emptyset	20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 50, 60, 70, 80, 90
--	---

Tabell 4: Tvärsnittsdimensioner för grundmodellens bågavstyvare. Bågavstyvarna utfördes som rektangulära VKR-profiler. Ursprunglig dimension markeras som fetstil text.

Livhöjd h_w	Livtjocklek t_w	Flänsbredd b_f	Flänstjocklek t_f
300	10	300	10
300	16	300	16
350	10	350	10
350	16	350	16
400	10	400	10
400	16	400	16
450	10	450	10

Tabell 5: Tvärsnittsdimensioner för grundmodellens tvärbalkar. Tvärbalkarna utformades som valsade HEA-profiler. I fallstudien tillämpades dimensioner från HEA100 till HEA1000. Ursprunglig dimension markeras som fetstil text.

Typ	Min.	Ursprung	Max.
HEA	HEA100	HEA700	HEA1000

Tabell 6: Tvärsnittsdimensioner för grundmodellens långbalkar. Långbalkarna utfördes som valsade IPE-profiler. I fallstudien tillämpades dimensioner från IPE100 till IPE750. Ursprunglig dimension markeras som fetstil text.

Typ	Min.	Ursprung	Max.
IPE	IPE100	IPE500	IPE750

3.4.3 Material

Brokonstruktionen är konstruerad i stål för samtliga komponenter med stålkvallitet S355j2.

3.4.4 Laster

Laster som ingick vid dimensionering var egenvikt och en variabel last. Den variabla lasten var en jämt utbredd last på 35kN/m per långbalk. Laster behandlades utifrån i brottgränstillstånd.

3.4.5 Normer

Dimensionering av ingående element utfördes i SAP2000. Dimensioneringen utfördes enligt svensk tillämpning av Eurocode 3.

3.4.6 Programvaror

- Tekla Structures 17.0 Service Release 5
- SAP2000 Ultimate 15.1.0

3.4.7 Modellering

Grundmodellen modelleras i Tekla Structures under följande förutsättningar:

- Alla element modellerades utifrån dess centrumlinjer
- Bågbalkar modellerades med verktyget för *polybeam*
- Alla infästningar mellan element sattes till fast inspända

Att modellens infästningar utfördes som fast inspända beror på att SAP2000 har svårigheter att behandla en konstruktion med infästningar som innehåller många frihetsgrader (Tekla Corporation, 2010).

3.4.8 Analys och dimensionering

I SAP2000 tillämpades en arbetsgång för analys och dimensionering enligt nedanstående ordning:

- Tilldelning av upplag
- Tilldelning av laster
- Applicering av laster
- Analys
- Dimensionering
- Iterativa körningar av analys och dimensionering

I fallstudien benämns ovan beskrivna process för *dimensioneringsprocessen*. För fullständig redovisning av *dimensioneringsprocessens* utförande hänvisas till Bilaga II: Handbok för en integrerad arbetsprocess mellan projektör och konstruktör.

4 Fallstudien Del I – Resultat och rekommendationer

I kapitlet följer en redovisning av analyser i fallstudiens första del. Analyserna avser exportering av information genom programlänkens funktioner *Export* och *Open Application* samt genom manuell hantering.

För detaljerad redovisning av analysernas genomförande hänvisas till *Bilaga II: Handbok för integrerad arbetsprocess mellan projektör och konstruktör*.

4.1 Analys: Programlänk – Export

4.1.1 Bakgrund

Programlänken är ett tillägg till Tekla Structures som finns att tillgå på Teklas Extranät för nedladdning. Med programlänken innebär det att analysmodeller kan exporteras från Tekla Structures till SAP2000 i en integrerad process. Programlänken är kompatibel med flertalet funktioner i Tekla Structures som gör det möjligt att tillämpa en integrerad projektering mellan projektör och konstruktör. Programlänken förutsätter att Tekla Structures och SAP2000 är installerade på samma dator (Tekla Corporation, 2012).

4.1.2 Syfte

Syftet med analysen var att få förståelse för hur export och import av 3D-modeller mellan Tekla Structures och SAP2000 fungerar med programlänken. Intressanta aspekter var hur överföring av modellens sammansättning och elementegenskaper samt hur dimensionering integreras i Tekla Structures och filhantering. Vilket skulle kunna innebära att en väl fungerande exporteringsprocess mellan programmen etableras.

Modellen och resultat avlästes efter följande hållpunkter:

- Skapad analysmodell i Tekla Structures
- Importerad modell till SAP2000
- Analys och dimensionering i SAP2000
- Import av dimensioneringsresultat och uppdatering i Tekla Structures

4.1.3 Förutsättningar

Brokonstruktionen modellerades i Tekla Structures och exporterades till SAP2000 med programlänken. Laster och lastkombinationer tilldelades i SAP2000.

4.1.4 Genomförande

För detaljerat genomförande se Bilaga II: Handbok för integrerad arbetsprocess mellan projektör och konstruktör.

I Tekla Structures modellerades brokonstruktionen och översättades till en analysmodell med programlänken som *analys applikation*. I analysmodellen kontrollerades noder och analyslinjer. Analysmodellen exporterades till SAP2000.

I SAP2000 kontrollerades överföringen genom att noder och systemlinjer kontrollerades i systemmodellen så att de såg korrekta ut och fäste i varandra enligt analysmodell i Tekla Structures. Upplag definierades och modellens sammansättning kontrollerades genom att en analys kördes.

Före dimensionering kontrollerades elementens tvärsnitt så att de överförts korrekt och förberedde för dimensionering. De element som saknade automatiska tvärsnittslistor tilldelades nya.

Laster till modellen tilldelades genom att skapa lastfall och placera ut laster på långbalkarna. Eurocode 3, 2005 med svensk tillämpning angavs som beräkningskod.

Dimensioneringsprocessen startade genom att en analys kördes följt av dimensionering, dessa upprepades tills att modellen var färdigdimensionerad vilket kontrollerades.

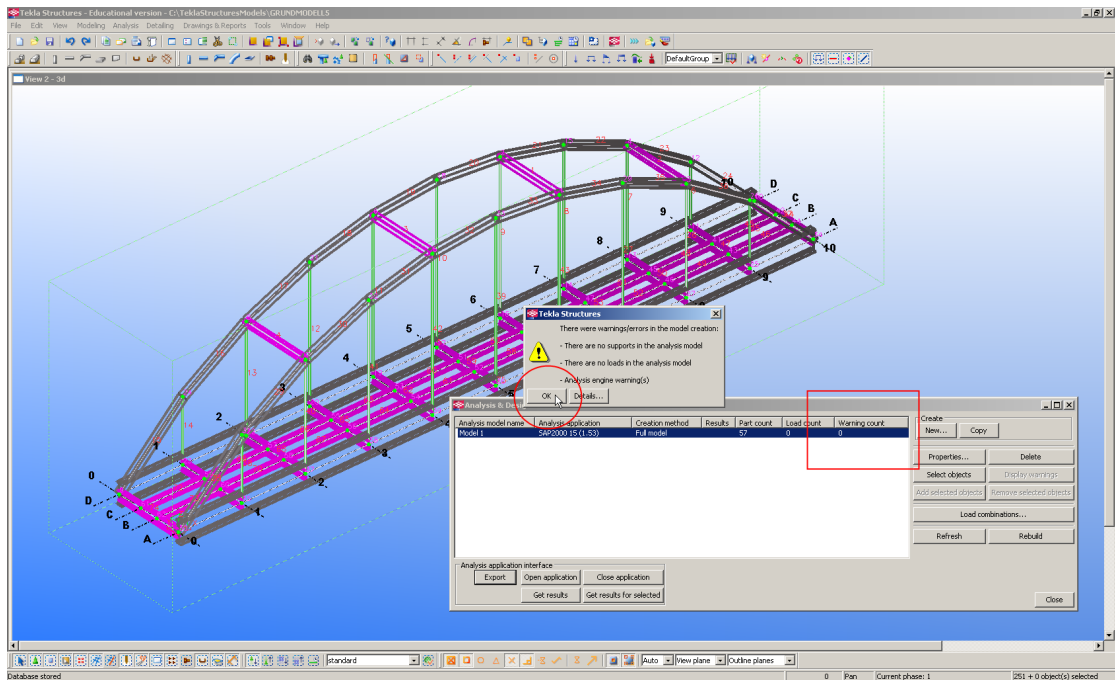
Modellen sparades och SAP2000 avslutades.

I Tekla Structures öppnades analysmodellen som skapades till projektet. Resultatet ifrån analys och dimensionering i SAP2000 importerades till Tekla Structures och modellen uppdaterades enligt nya tvärsnittsdimensioner.

4.1.5 Resultat

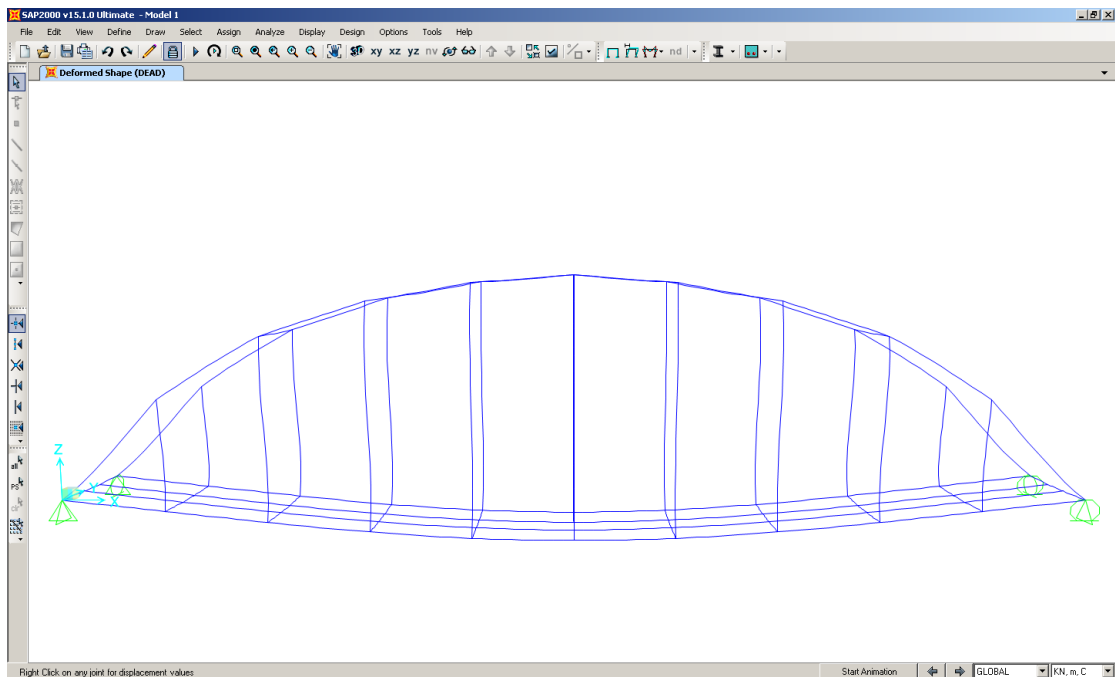
Vid exportering av analysmodellen från Tekla Structures till SAP2000 öppnades SAP2000 automatiskt och modellen sparades som en .sdb-fil, som är SAP2000 standardformat. Modellfilen sparades i mappen för analysmodellen.

I samband med exporteringen visade Tekla Structures varningsmeddelanden om det fanns risk för att problem kunde uppstå vid överföringen (Figur 10).



Figur 10: Vid exportering från Tekla Structures visades varningsmeddelanden om det fanns risk för problem vid exporteringen.

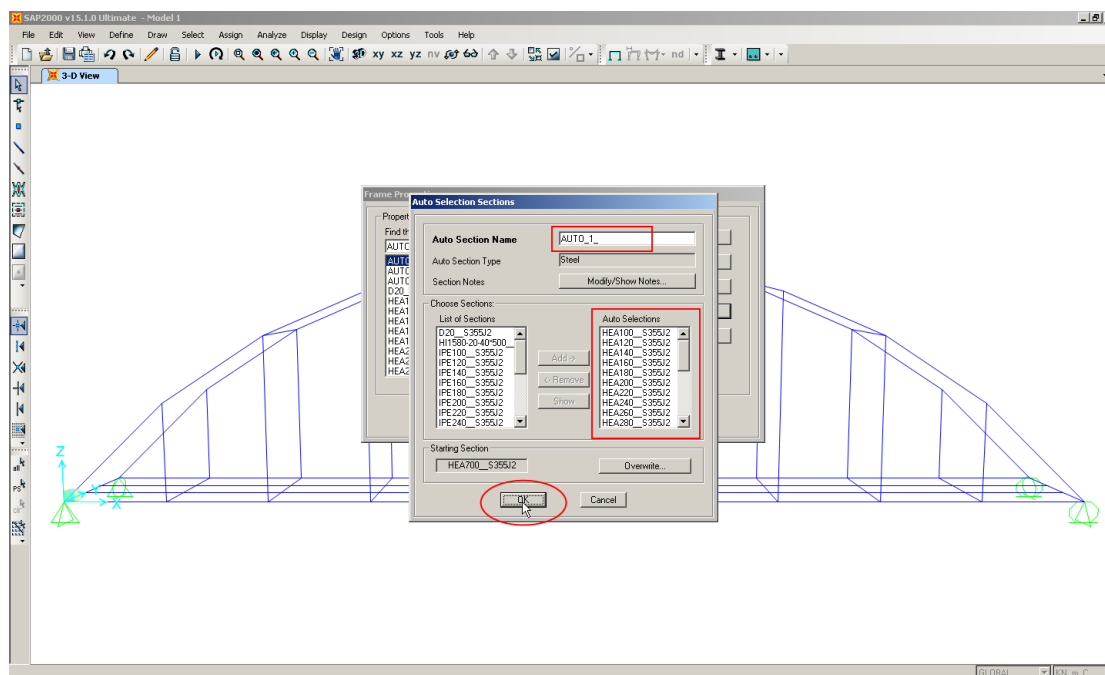
Systemmodellen kontrollerades i SAP2000 och sammansättningen av element stämde överens med Tekla Structures modellen. Systemlinjerna i SAP2000 motsvarades av analyslinjerna i Tekla Structures och hela modellen visades med tvärsnitten synliga. Den har överförts som en smart modell och en analys med egenvikten kunde utföras direkt (Figur 11).



Figur 11: I SAP2000 analyserades grundmodellen och deformationen redovisades.

Elementen innehåller korrekta tvärsnitt och stålqualiteter som definierats i Tekla Structures. De tvärsnitt som tillhör standardbiblioteket i Tekla Structures såsom IPE,

HEA och VKR överfördes som listor av profiler av samma typ (Figur 12). Det vill säga att element definierade som IPE överfördes som en lista bestående av IPE-profiler i varierande dimension.

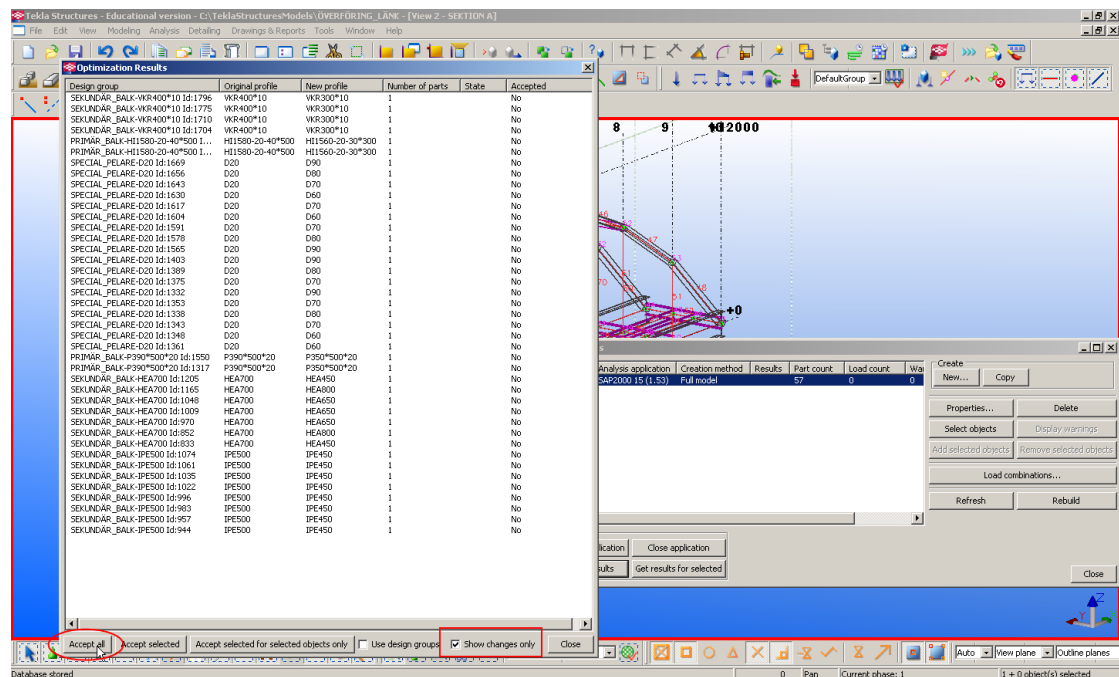


Figur 12: Kontroll av automatiska tvärsnittslistor i SAP2000.

Element som inte tillhör Tekla Structures biblioteket och skapats manuellt i Tekla Structures överfördes korrekt men till dessa hade inte listor skapats.

Analys och dimensionering av modellen i SAP2000 gick som sig bör och tvärsnittslistorna fungerade.

Vid avslutad dimensionering sparades modellen i SAP2000 och analysmodellen i Tekla Structures öppnades. Genom funktionen *Get results* hämtades dimensioneringsresultatet ifrån SAP2000 som redovisades i form av en lista över profiler (Figur 13). Listan visade de element i modellen som rekommenderades att uppdatera för att konstruktionen skulle klara lasten. Elementen i listan kunde visas i modellen som markerade objekt. Modellen kunde uppdateras automatiskt genom att acceptera listan. Det fanns även möjligheter till justeringar eller att helt avböja.



Figur 13: Lista över element som rekommenderades att uppdatera i Tekla Structures för att grundmodellen skulle klara lasten.

4.1.6 Analys och utvärdering

Exporteringen av analysmodeller ifrån Tekla Structures till SAP2000 var lätt att använda och i analysmodellen gavs det möjlighet att kontrollera modellens sammansättning. Det fanns flertalet inställningar att använda vid exportering för att nå en lyckad export.

Vid exportering sparades modellen automatiskt som en ny fil i SAP2000s filformat .sdb. Filen kunde sparas på valfri plats på datorn men som default sparades filen tillsammans med Tekla Structures modellen i mappen "Analysis". Det är viktigt att efter exportering inte flytta filen för då kan inte programmen länka 3D-modellen med rätt analysmodell och processen slutar att fungera. När arbetet övergick till SAP2000 kunde Tekla Structures fortfarande vara öppet vilket förenklade kontroller för användaren och minskade riskerna för fel och missförstånd vid överföring.

En erfarenhet ifrån exportering med programlänkens funktion *Export* var att den alltid genererar en ny fil. Om funktionen export tillämpades efter genomförd exporteringsprocess skrevs den tidigare använda filen över. Det innebär att tidigare inställningar utförda i SAP2000 fick göras om.

Att modellen i Tekla Structures sparades automatiskt vid export i ett filformat direkt kompatibelt med SAP2000 möjliggjorde att SAP2000 automatiskt kunde öppnas och arbetet kunde återupptas direkt. Det bidrog med effektivitet och tillförlitlighet. Få steg och moment inger säkerhet i informationsflödet mellan programmen och ger en stark känsla av integration.

Modellfilen sparades i analysmodellens mapp vilket ger bra struktur och användaren ställs inte inför några val.

Tekla Structures visade varningsmeddelanden om modellen riskerade att feltolkas i exporteringen från Tekla Structures. Det minskar risken för fel och i inställningarna för analysmodell finns flera valmöjligheter.

Modellen överfördes som en smart modell vilket är en förutsättning för en lätthanterlig process vid analys och gjorde att sammansättningen av modellen kunde kontrolleras direkt. Det innebar att fel i modellen kunde upptäckas i ett tidigt skede och snabbt kan justeras i Tekla Structures eller SAP2000. Om modellen inte överförts som en smart modell och istället som en referensmodell hade det inneburit att modellen behövts modelleras på nytt. Referensmodellen hade använts som mall för den nya modellen och först efter att den nya modellen modellerats hade felaktigheter och eventuella ändringar identifierats.

Dimensioneringen utfördes enkelt på samma sätt som om modellen var skapad i SAP2000. Tvärsnittslistor är en förutsättning i SAP2000 för en effektiv och lätthanterlig dimensionering. Att det automatiskt skapades tvärsnittslistor vid exportering var mycket fördelaktigt för effektiviteten. Modeller som skapas med endast standardiserade tvärsnitt kan därmed påbörjas att dimensioneras direkt.

Manuellt definierade och tilldelade tvärsnitt i Tekla Structures överfördes med korrekta dimensioner till SAP2000. Det skapades dock inga automatiska tvärsnittslistor.

Alla tvärsnitt ifrån Tekla Structures överfördes korrekt till SAP2000. Det minskade risken för feltolkningar eller att element i konstruktionen saknades.

Efter avslutad dimensionering med tillhörande kontroller i SAP2000 sparades modellen över modellfilen som skapades vid exporteringen. Det är viktigt att modellen i SAP2000 sparas över aktuell fil annars fungerar inte processen då programmets länkning slutar att fungera. Det gav processen en säkerhet då ingen filhantering behövde utföras innan arbetet skulle övergå till Tekla Structures och det säkerställde att det endast finns en modell i projekteringen. SAP2000 avslutades sedan för att arbete skulle kunna fortsättas i Tekla Structures.

I Tekla Structures öppnades analysmodellen och resultatet ifrån dimensioneringen hämtades enkelt genom funktionen *Get results*. SAP2000 öppnades på nytt automatiskt för att resultatet skulle kunna hämtas. Resultatet visades i Tekla Structures som en lista över tvärsnitt som SAP2000 rekommenderade att användaren ändrade. Listan var överskådlig och redovisade ursprungligt och nytt förslaget tvärsnitt. Användaren kunde enkelt välja att uppdatera modellen med föreslagna tvärsnitt och modellen uppdaterades automatiskt. Listan behövde inte accepteras rakt av utan kunde justeras utifrån användarens önskemål.

Uppdateringen av nya tvärsnitt var tydlig och enkel att använda. Användaren har kontroll över vad som sker och bör göras. Uppdatering skedde effektivt och automatiskt vilket minskade risken för fel.

4.1.7 Slutsats

Exporteringsprocessen med programlänk upplevdes effektiv och enkel att använda. Användaren har kontroll över modellen och mycket information i modellen överförs korrekt. Processen har flera automatiska funktioner som bidrar med både effektivitet och säkerhet. Programlänken anses bidra med till en effektiv och kvalitetssäker process.

Programlänkens funktion *Export* genererar alltid en ny fil vid exportering. Den nya filen skriver över den tidigare filens inställningar. Därför bör funktionen *Export* endast tillämpas vid första export av analysmodell.

4.1.8 Rekommendation

För att uppnå effektiv och kvalitetssäker exportering föreslås att programlänkens funktion *Export* används i största möjliga utsträckning.

- Funktionen medger smidig hantering
- Mycket information överförs per automatik
- Kontroll över filer och nya tvärsnitt

Programlänkens funktion *Export* bör endast tillämpas vid första exportering av analysmodell.

- Om programlänkens funktion *Export* tillämpas för nya exporteringar skrivs tidigare inställningar över och användaren måste på nytt utföra det arbete som genomfördes vid första analys och dimensionering i SAP2000.

4.2 Analys: Programlänk - Open Application

4.2.1 Bakgrund

Programlänken erbjuder inte endast att exportera 3D-modeller mellan programmen i ett tidigt skede. Vid projektering sker ändringar under projektets gång som kan påverka dimensioneringen av en konstruktion. 3D-modellen behöver då uppdateras och revideras flertalet gånger vilket innebär mer arbete. Funktionen *Open application* i Tekla Structures är en delfunktion av programlänken och kan användas i förändringsarbetet för att minska dubbelarbete.

4.2.2 Syfte

Syftet med Analys: Open Application var att undersöka om det var möjligt att använda funktionen i förändringsarbetet vid projekteringen. Intressanta aspekter att undersöka var om inställningar för laster, lastfall, beräkningskod och skapade tvärsnitt med tvärsnittslistor är sparade i modellen.

Modellen och resultat avlästes efter följande hållpunkter:

- Skapad analysmodell i Tekla Structures
- Importerad modell till SAP2000
- Analys och dimensionering i SAP2000
- Import av dimensioneringsresultat och uppdatering i Tekla Structures

4.2.3 Förutsättningar

Funktionen *Open application* användes tillsammans med programlänken. Analysen var en fortsättning på Analys: Programlänk. Förutsättningarna i SAP2000 förändrades så att definierade laster justerades till 40kN/m.

4.2.4 Genomförande

För detaljerat genomförande se Bilaga II: Handbok för integrerad arbetsprocess mellan projektör och konstruktör.

I Tekla Structures öppnades modellen ifrån Analys: Programlänk, modellen var dimensionerad med nya dimensioner enligt dimensioneringsprocessen i SAP2000. Analysmodellen öppnades och modellen exporterades till SAP2000 med funktionen *Open Application*.

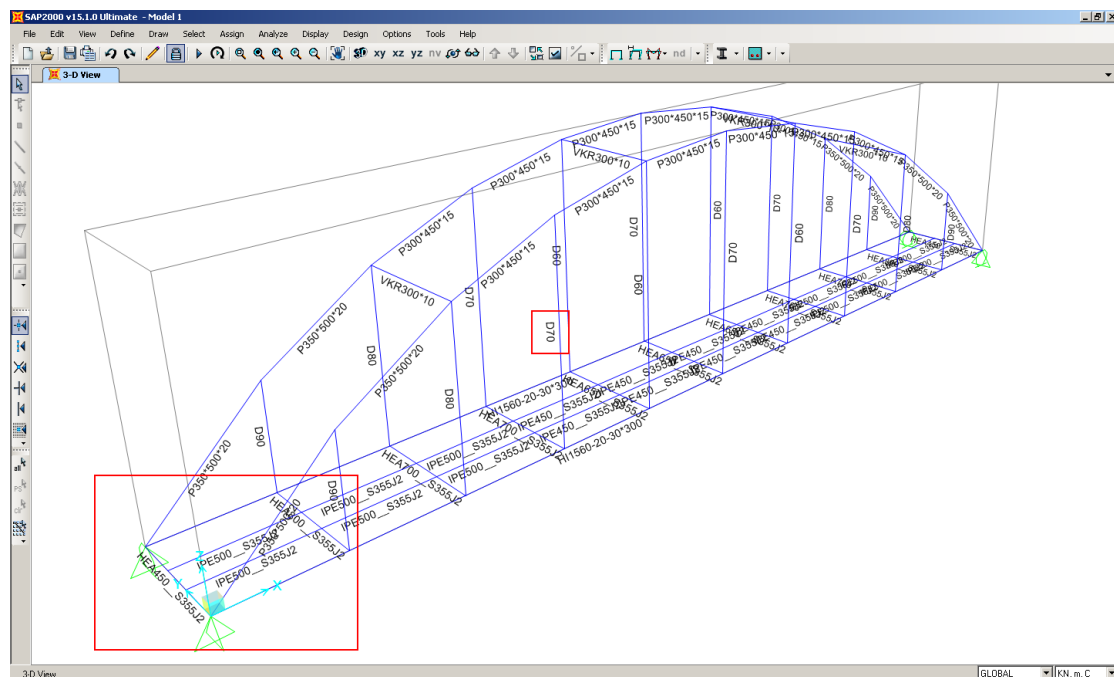
I SAP2000 kontrollerades modellen samt inställningar som gjorts i samband med analys och dimensionering vid föregående dimensioneringsprocess.

Laster på långbalkarna justerades och modellen analyserades och dimensionerades. Modellen sparades med de nya dimensionerna och SAP2000 avslutades.

I Tekla Structures öppnades analysmodellen och resultatet från dimensioneringen hämtades. Ändringarna för tvärsnitten accepterades och modellen uppdaterades med nya dimensioner.

4.2.5 Resultat

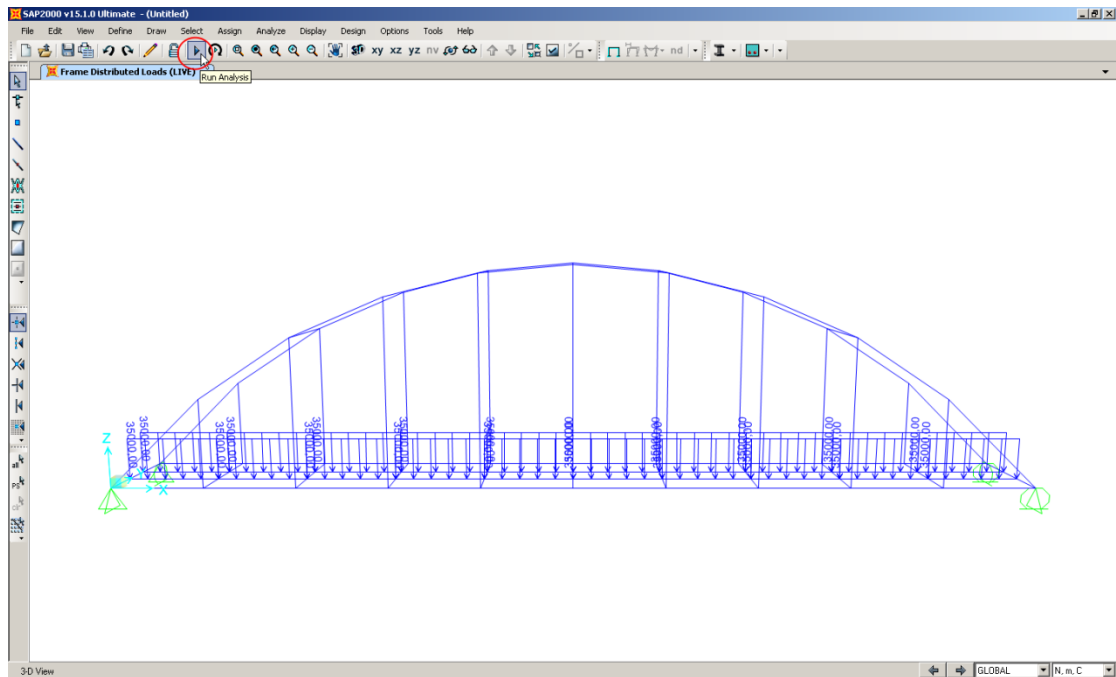
Med *Open application* i Tekla Structures öppnades analysmodell automatiskt i SAP2000. I SAP2000 hade modellen de dimensioner som genererades vid dimensionering i senaste processen (Figur 14).



Figur 14: Grundmodellen öppnades i SAP2000 och tvärsnitt kontrollerades.

Elementen med automatiska tvärsnittslistor har kvar dem sedan tidigare. Det gällde även för de element som skapades i SAP2000 med tillhörande listor.

Laster och lastfall som definierades vid föregående process var tilldelade som vid föregående process och gick att justera till ett högre värde. Definierade laster visas i Figur 15.



Figur 15: Laster ifrån föregående dimensionering i SAP2000 är kvar i grundmodellen.

Beräkningskoden var inställd på Eurocode som tidigare och dimensionering utfördes korrekt.

Efter avslutad dimensionering och arbete i SAP2000 sparades modellen och arbetet övergick till Tekla Structures. I Tekla Structures hämtades resultatet med *Get results*. Förändrad last gav ett nytt resultat med nya dimensioner. Uppdatering skedde på samma sätt som i *Analys: Programlänk*.

4.2.6 Analys och utvärdering

Vid överföring med *Open Application* öppnades modellen automatiskt i SAP2000 och arbetet med modellen i SAP2000 kunde påbörjas där arbetet i SAP2000 senast avslutades.

Elementen hade dimensioner enligt föregående dimensionering med tillhörande tvärsnittslistor. Inställningar för last och lastfall var sparade i modellen och tilldelade som vid senaste dimensionering.

En ny dimensionering kunde påbörjas direkt utan omdefiniering av inställningar. Det öppnade för en enkel process vid förändrade förutsättningar.

Med *Open Application* används automatiskt samma fil som skapades då modellen exporterades från Tekla Structures till SAP2000 i första skedet. Det innebär att ingen filhantering behöver utföras och det finns ingen risk för att kopior av modellen kan skapas.

Efter avslutad dimensionering i SAP2000 måste modellen sparas över befintlig fil för att arbetet ska kunna fullföljas. SAP2000 bör sedan avslutas för att resultatet ska kunna hämtas till Tekla Structures.

I Tekla Structures skedde uppdatering av nya tvärsnitt på samma sätt som vid programlänk och gav en lättöverskådlig bild över vad som har förändrats vid en ny dimensionering.

Om arbetet med modellen har gått långt i projektering kan elementen ha en eller flera systemkopplingar och detaljer applicerade. Listan över element som bör uppdateras ger mycket viktig information för kontroll av dessa. Aktuella element kan enkelt fås markerade i modellen och en kontroll av berörda detaljer kan utföras. Detaljer är beroende av dimensioner och typer av elementen de är applicerade på och kan vid förändringar bli felplacerade eller verkningslösa.

Open Application möjliggör en enkel analys och dimensionering med nya förutsättningar utan att arbetet ska behöva göras två gånger. Inställningar som gjordes i föregående dimensioneringsprocess har sparats. Det ger en effektivitet process vid ny dimensionering i minskat arbete samtidigt som att risken för att laster och parametrar går förlorade ifrån en tidigare dimensionering minskas.

Open Application kan användas vid valfritt tillfälle i projektering och innebar att den senaste versionen av exportfilen öppnades. Därmed kunde kontroller enkelt utföras vid flera tillfällen vilket skapade en säker process. Om beställaren hade nya önskemål eller om förutsättningarna ändrats kunde det när som kontrolleras eller för kontroll av eventuella ändringar vilket leder till flexibilitet mot andra discipliner.

Om funktionen "Export" används på en redan dimensionerad modell på samma sätt som i Analys: *Programlänk - Export* öppnas SAP2000 automatiskt och den föregående modellfilen sparas över. Det betyder att inställningar gjorda vid föregående dimensionering går förlorade och process börjar om från början. Sdb-filen som skapades vid första tillfället går ej att återskapa. Det är därför mycket viktigt att välja rätt mellan "Export" och *Open Application*. Kom ihåg att "Export" endast ska användas en gång!

Vid analysen upptäcktes att funktionerna *Refresh* och *Rebuild* i Tekla Structures bör användas om ändringar gjorts i modellen. Funktionerna finns tillgängliga i dialogrutan för analysmodeller och uppdaterar markerad analysmodell enligt utförda ändringar. *Refresh* och *rebuild* bör alltid användas då ändringar utförts i modellen för att analysmodellen ska uppdateras.

4.2.7 Slutsats

Programlänkens funktion *Open Application* rekommenderas att använda vid ändringsarbete. Funktionen innebär att arbetet i SAP2000 kan återupptas där det senast sparades. Programlänkens funktion *Export* bör endast användas första gången då modellen ska exporteras till SAP2000, annars riskeras utfört arbete sparas över.

Vid utförda ändringar i Tekla Structures rekommenderas att använda funktionerna *Refresh* och *Rebuild* för att uppdatera informationen i befintlig analysmodell innan exportering genomförs.

4.2.8 Rekommendation

För att effektiv och kvalitetssäker exportering vid ett iterativt ändringsarbete föreslås att programlänkens funktion *Open Application* används i största möjliga utsträckning.

- Ändrar inte tidigare inställningar i SAP2000
- Bidrar med kontroll över filer och nya tvärsnittsdimensioner

Tillämparen rekommenderas att använda funktionerna *Rebuild* och *Refresh* innan exporteringar utförs.

- För att uppdatera informationen som tillkommit sedan befintlig analysmodell skapades, måste funktionerna *Rebuild* och *Refresh* tillämpas

4.3 Analys: Manuell export

4.3.1 Bakgrund

Projektörer och konstruktörer använder olika programvaror vid projektering. De har därmed inte tillgång till både modellerings- och beräkningsprogram på sina datorer. Programlänken förutsätter att Tekla Structures och SAP2000 finns tillgängliga på samma dator för att överföringen ska kunna genomföras. En lösning på problemet kan vara manuell export som innebär att filerna exporteras till en modellfil som är kompatibel med fler programvaror. Det kan genomföras utan att ha tillgång till programvaran som filen önskas exporteras till. Modellfilen kan sedan förflyttas manuellt till en annan dator och öppnas av en annan användare. Vid överföring mellan Tekla Structures och SAP2000 rekommenderas enligt tillverkare att filformaten IFC och CIS/2 STEP bör användas. IFC bör användas vid export från Tekla Structures till SAP2000 och CIS/2 mellan SAP2000 och Tekla Structures för att modellerna ska kunna öppnas som smarta modeller.

4.3.2 Syfte

Syftet med Analys: Manuell export var att undersöka hur en manuell exportering av 3D-modeller kan överföras mellan Tekla Structures och SAP2000. Intressanta aspekter var modellens sammansättning, tvärsnitt, tvärsnittslistor, elementegenskaper, filhantering och uppdatering efter dimensionering.

Modellen och resultat avlästes efter följande hållpunkter:

- Skapad analysmodell i Tekla Structures
- Importerad modell till SAP2000
- Analys och dimensionering i SAP2000
- Import av dimensioneringsresultat och uppdatering i Tekla Structures

4.3.3 Förutsättningar

Modellen gick igenom samma process som vid Analys: Programlänk men överfördes som exporterade filer. Enligt rekommendationer ifrån EDR överfördes modellen från Tekla Structures till SAP2000 med filformatet IFC och från SAP2000 till Tekla Structures med CIS/2 STEP.

4.3.4 Genomförande

För detaljerat genomförande se Bilaga II: Handbok för integrerad arbetsprocess mellan projektör och konstruktör.

Modellen öppnades i Tekla Structures och exporterades till en IFC-fil. Filen sparades på lämplig plats på datorn.

SAP2000 öppnades och IFC modellen importerades till ett nytt projekt. Modellen kontrollerades och nödvändiga justeringar utfördes. Vidare analyserades och dimensionerades modellen på samma sätt som i *Programlänk - Export*. Modellen exporterades som en CIS/2 STEP- fil.

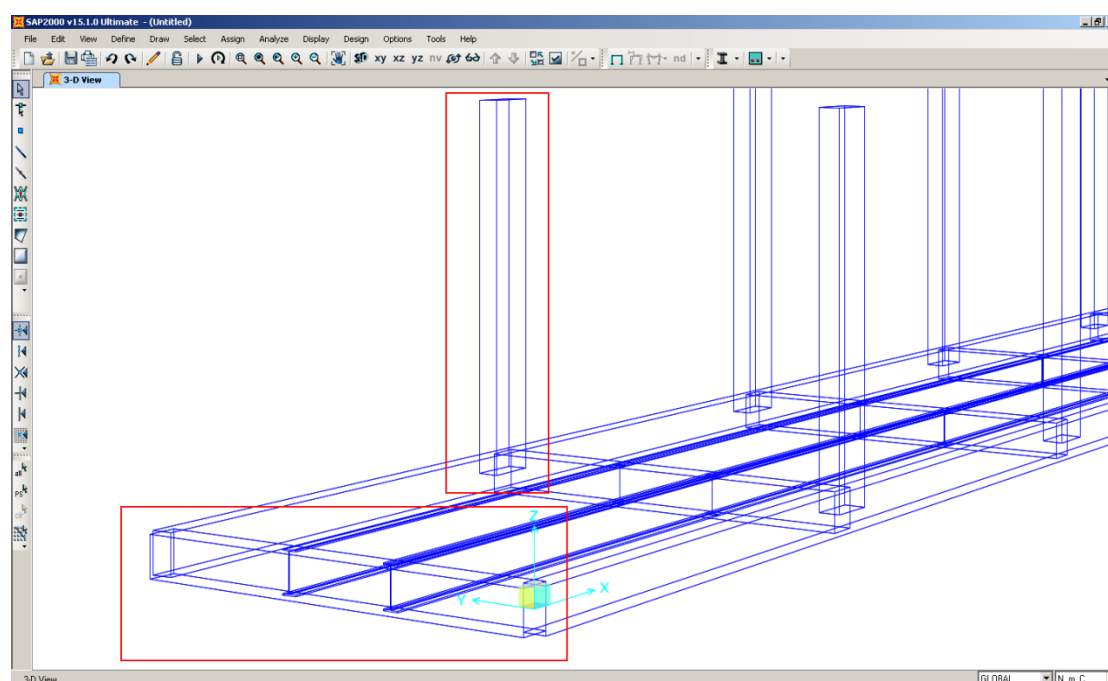
Den ursprungliga modellen med brokonstruktionen öppnades i Tekla Structures och CIS/2-filen från SAP2000 importerades. Den dimensionerade modellen ifrån SAP2000 importerades så att den fick samma koordinater som modellen i Tekla Structures. Den ursprungliga modellen uppdaterades enligt dimensioner från SAP2000 modellen.

4.3.5 Resultat

Manuell export av 3D-modell ifrån Tekla Structures till SAP2000 med filformatet IFC fungerade. IFC-filen sparades på datorn och upptog knappt 300kb.

I SAP2000 importerades modellen och öppnades korrekt. Sammansättningen kontrollerades och bågbalken som var modellerad som en *Polybeam* i Tekla Structures saknades i modellen i SAP2000. Balken modellerades på nytt i SAP2000.

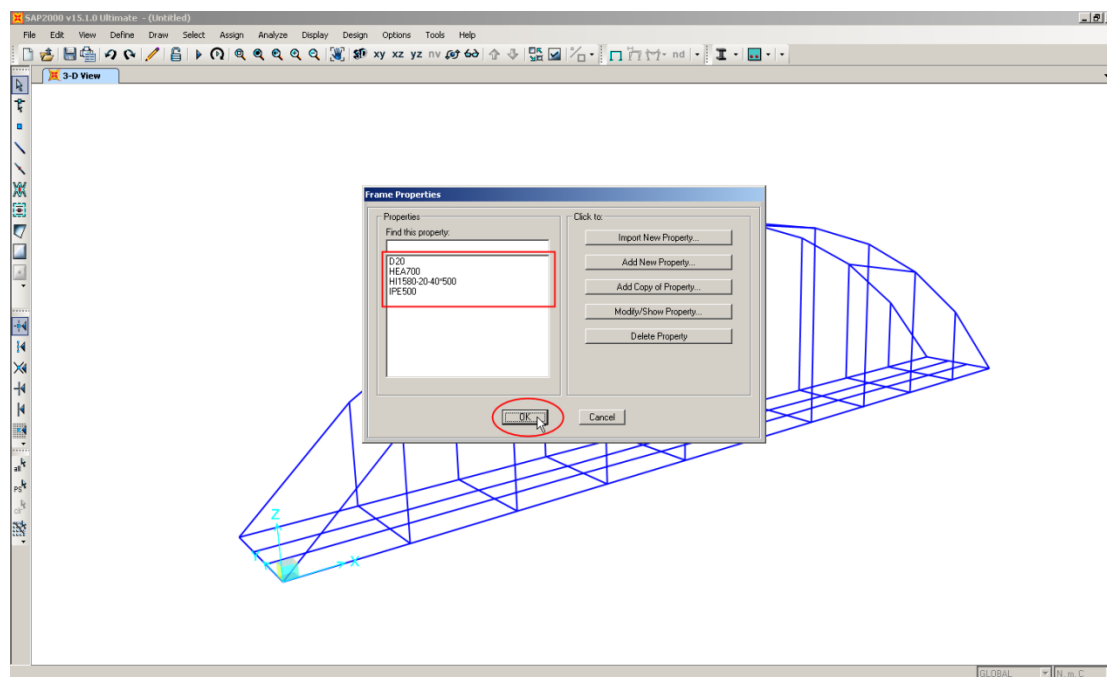
Elementens egenskaper överfördes korrekt enligt benämningar i Tekla Structures. Dock tolkades inte alla element korrekt och visades därmed inte grafiskt som de borde (Figur 16). Det gällde både tvärsnitt som tillhör standard biblioteket i Tekla Structures och de som har skapats manuellt. Endast IPE-profilerna redovisades korrekt i modellen, resterande visades som rektangulära tvärsnitt.



Figur 16: Kontroll av elementen i SAP2000, elementen redovisades felaktigt som rektangulära tvärsnitt.

Elementen justerades och nya tvärsnitt skapades för att anpassas till SAP2000.

Inga tvärsnittslister skapades automatiskt i överföringen och tilldelades därmed manuellt (Figur 17).

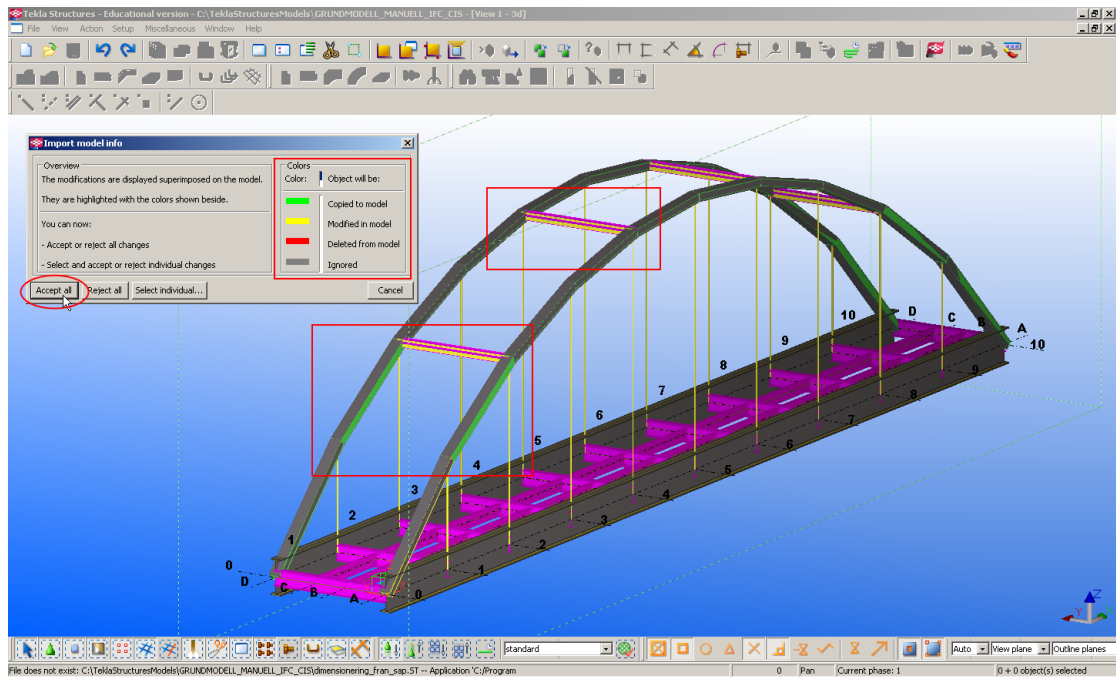


Figur 17: Kontroll av tvärsnittslister i SAP2000. Inga tvärsnittslister genererades automatiskt.

Modellens sammansättning kontrollerades i en analys med egenvikten och modellen fick förväntad deformation. Modellen har därmed överförs som en smart modell.

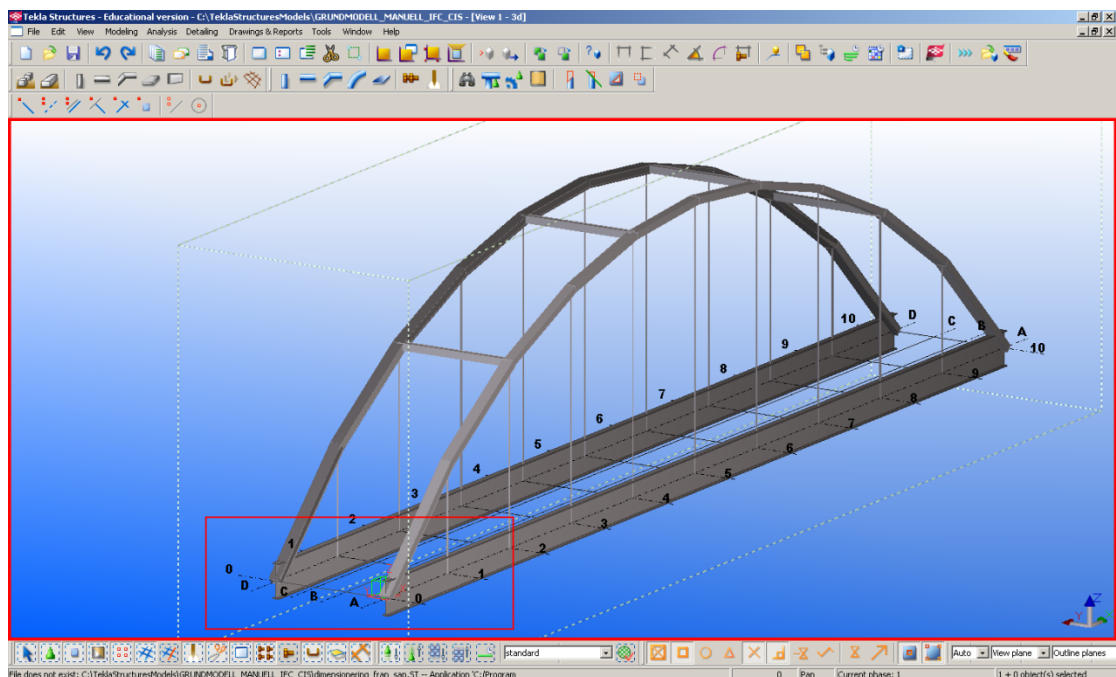
Dimensionering utfördes på samma sätt som vid *Programlänk - Export*. Modellen sparades och exporterades till en CIS/2-fil. Filen sparades på datorn och upptog ca 700kb.

SAP2000 avslutades och i Tekla Structures öppnades 3D-modellen. Genom funktionen *Import* importerades CIS/2 modellen ifrån SAP2000 till Tekla Structures. Det fanns flertalet inställningar vid importering och modellen valdes att importeras på samma koordinater som befintlig Tekla Structures modell. Innan modellen importerades klart gjorde programmet en jämförelse mellan befintlig och importerad modell. Element som hade divergerande dimensionering eller tvärsnittstyper markerades grafiskt i modellen (Figur 18). Det finns möjlighet att behålla befintliga dimensioner eller uppdatera enligt importerad modell från SAP2000.



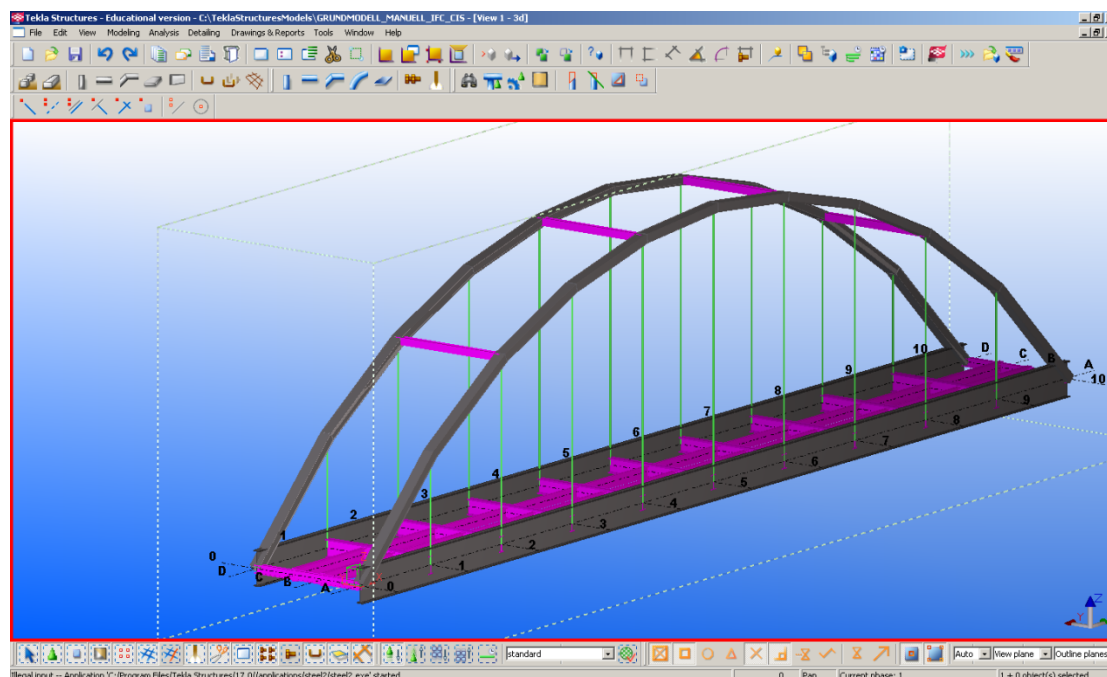
Figur 18: Grafisk redovisning av element som bör uppdateras för att klara lasten.

Modellen uppdaterades med nya dimensioner och kontrollerades på nytt. Flera av elementen hade ett felaktigt utseende och såg ut att saknas. I egenskaper för elementen utlästes att elementens benämningar hade ändrats. Det gick att utläsa vilken profiltyp som avsågs men benämningen stämde inte överens med biblioteket i Tekla Structures. Även lager hade fått en annan benämning vilket gjorde att elementen redovisades i grått (Figur 19).



Figur 19: Grundmodellen har uppdaterats med nya dimensioner i Tekla Structures. Lager och element har fått beteckningar som inte stämmer överens med programmets.

Lager och elementbeteckningar justerades manuellt för att anpassas till Tekla Structures och arbetet slutfördes(Figur 20).



Figur 20: Grundmodellen justerades manuellt så att lager och elementbeteckningar stämde överens med Tekla Structures.

4.3.6 Analys och utvärdering

3D-modellen överförd ifrån Tekla Structures till SAP2000 med filformatet IFC fungerade och modellen kunde öppnas i SAP2000 som en smart modell. I Tekla Structures krävdes flertalet försök innan IFC-filen skapades korrekt vilket kunde utläsas på att filens storlek inte upptar förväntad storlek. Den korrekta modellfilen upptog endast 300kb vilket innebar att den utan problem kan förflyttas mellan datorer och användare.

I SAP2000 kunde IFC-filen enkelt importeras och modellen öppnades direkt dock hade information fallit bort i överföringen.

Bågbalken överfördes inte till SAP2000 och behövde modelleras på nytt. Elementet var modellerat med *Polybeam*. Det betyder att element modellerade som *Polybeam* ej är kompatibla med IFC vilket kan betyda dubbelt arbete och förluster i processen vilket minskar effektiviteten och en stor risk för felaktigheter.

Tvärsnitt överfördes med korrekt information men kunde ej visas grafiskt i SAP2000. Flertalet element visades felaktigt i modellen, även de som tillhör standardbiblioteket i Tekla Structures. Det gick att med hjälp av överförd information och kunskap om Tekla Structures modellen att justera elementen i SAP2000 så att de tilldelades korrekta beteckningar och dimensioner.

Inga tvärsnittslistor skapades vid överföringen och måste därmed skapas manuellt. Tillgängliga tvärsnitt i modellen var endast de som överfördes ifrån Tekla Structures och fler tvärsnitt bör importeras till modellen.

Modellen överfördes som en smart modell och analys och dimensionering kunde utföras enligt dimensioneringsprocessen i SAP2000.

Efter avslutad dimensionering exporterades modellen i SAP2000 till en CIS/2-fil. Exporten fungerade på första försöket och filen upptog ca 700 kb vilket gör den fullt möjlig att flytta.

Om modellen exporterats från SAP2000 med filformatet IFC hade den endast kunnat öppnas i Tekla Structures som en referensmodell. Då hade modellen på nytt behövt modelleras upp med referensmodellen som mall.

I Tekla Structures kunde CIS/2-filen importeras efter flertalet menyer och inställningar. Modellen importerades ovanpå befintlig modell med hjälp av att samma koordinater angavs. Befintlig och importerad modell jämfördes och divergerande element jämfördes.

Element som inte stämde överens mellan modellerna visades på ett relativt otydligt sätt med färgmarkeringar för aktuella element. Tekla Structures modellen kunde uppdateras automatiskt för alla element eller endast utvalda vilket ger användaren valmöjligheter. Men processen upplevdes osäker då det var svårt att få kontroll över vilka element som berördes och vad uppdateringen innebar.

Efter uppdatering ändrades benämningarna på de tvärsnitt som berördes och modellen behövde kontrolleras noggrant. Att benämningarna ändrades skapar en stor osäkerhet för användaren. Elementen fick betäckningar som inte stämmer överens med Tekla Structures benämningar vilket gjorde att vissa element endast visades som linjer i 3D-modellen. Alla element behövde därmed manuellt kontrolleras och justeras var för sig vilket drar ner på effektiviteten. Även lager behövde justeras då de efter uppdatering benämndes som siffror vilket kan göra det svårt att tilldela rätt lager utan association.

Felaktiga benämningar gav flera arbetsmoment i processen och innebar stor risk för feltolkningar då flera benämningar kunde vara svåra att tolka utan mer material eller kunskap.

Manuell export är möjlig med filformaten IFC och CIS/2 vilket öppnar för exportering av 3D-modeller mellan olika datorer och användare. Filerna är lätta att hantera och kan enkelt överföras mellan datorer.

4.3.7 Slutsats

Manuell export med aktuella filformat är inte att rekommendera. Processen är ineffektiv på flera punkter och direkta fel kan begås med missförstånd och förluster av information. Modellen överfördes som en smart modell men kan innebära mer arbete än att modellera konstruktionen från grunden i SAP2000. *Manuell export* bidrar inte

till en mer integrerad process och är betydligt mindre effektiv än programlänken. I förhållande till programlänken bidrar manuell export till dubbelarbete vid flertalet tillfällen. *Manuell export* bör endast användas i de fall filer behöver flyttas mellan datorer och programlänken absolut inte kan tillämpas.

4.3.8 Rekommendation

Rekommendationen är att *Manuell export* bör undvika att tillämpas. *Manuell export* bör endast användas i de fall filer behöver flyttas mellan datorer och programlänken absolut inte finns att tillgå.

- Innebär en svårhanterad process
- Kräver mycket handpåläggning
- Dålig kontroll över filer och nya tvärsnitt
- Ineffektiv och brister i kvalitetssäkerhet

5 Fallstudiens Del II – Resultat och rekommendationer

I kapitlet följer en redovisning av fallstudiens genomförande och framtagning av rekommendationer för en effektiv och kvalitetssäker projektering med Tekla Structures och SAP2000. Analyserna i fallstudiens andra del omfattar modelleringsaspekter och programfunktioner som ingår i projekteringen arbetsmoment. Analyserna avser modelleringsteknikerna avkortning, förskjutning och systemkomponenter samt programfunktioner för definiering av laster, lastkombinationer och leder.

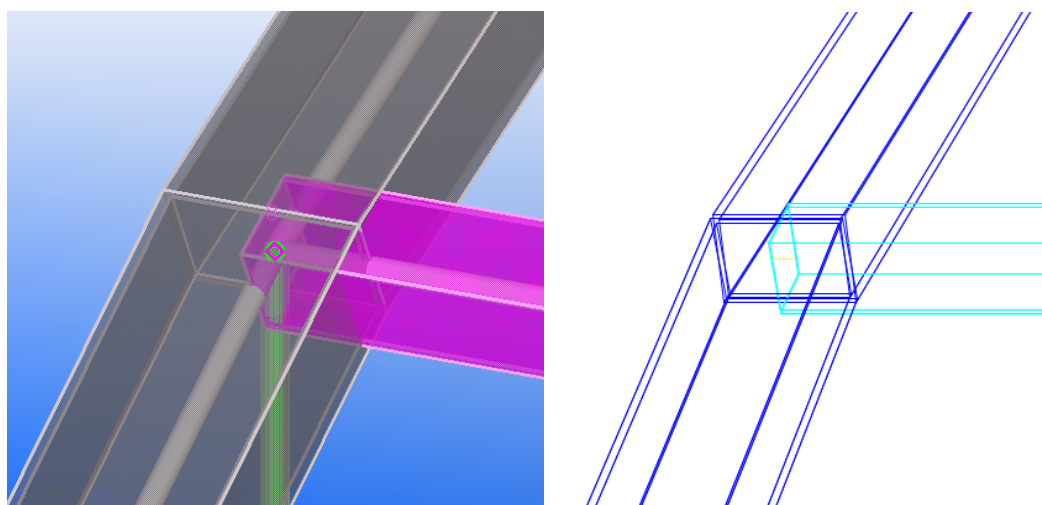
För detaljerad redovisning av analysernas genomförande hänvisas till Bilaga I: Detaljerad redovisning av fallstudiens genomförande.

5.1 Analys: Avkortning av bågavstyvare

5.1.1 Bakgrund

En grundläggande förutsättning för att konstruktioner ska gå att montera är att dess element har en längd och passform som gör att de kan fogas samman. För att uppnå detta är det viktigt att tillverkaren får ritningar som beaktar detta.

En gemensam princip för modellering i Tekla Structures och SAP2000 är att de ingående elementen byggs upp av en systemlinje med ett tillhörande tvärsnitt. Ett problem uppstår då två eller flera element kopplar till samma systemlinje är att tvärsnitten felaktigt går in i varandra. Att elementen går in i varandra innebär bland annat felaktiga ritningar och inkorrekta materielmängder samt felaktigt beräkningsunderlag. I Figur 21 illustreras problemet vid sammankopplingar i respektive program.



Figur 21: Anslutning mellan bågavstyvare och bågbalk utan avkortning i Tekla Structures och SAP2000.

Avkortning kan utföras på flera olika sätt, antingen i Tekla Structures eller i SAP2000. För att erhålla en effektiv och kvalitetssäker hantering av avkortningar är det bland annat intressant att studera om det går att överföra avkortningar mellan programmen, samt om avkortningar automatisk uppdateras i Tekla Structures efter att en dimensionering utförts i SAP2000. Det är även intressant att undersöka hur olika sätt att avkorta tolkas genom exporteringsprocessen samt om avkortning påverkar analys- och systemlinjer. Det sistnämnda är framförallt viktigt för att ha kontroll på modellen vid dimensionering.

5.1.2 Syfte

Syftet med att undersöka avkortningar var att få svar på om det går att överföra avkortningar mellan programmen. Andra syften var att utreda hur olika sätt att avkorta tolkas genom exporteringsprocessen, om analys- respektive systemmodellens sammansättning påverkas av avkortningar samt om avkortningar uppdateras automatiskt efter ändring av elements tvärsnittsdimensioner.

Intressanta hållpunkter för start i Tekla Structures var:

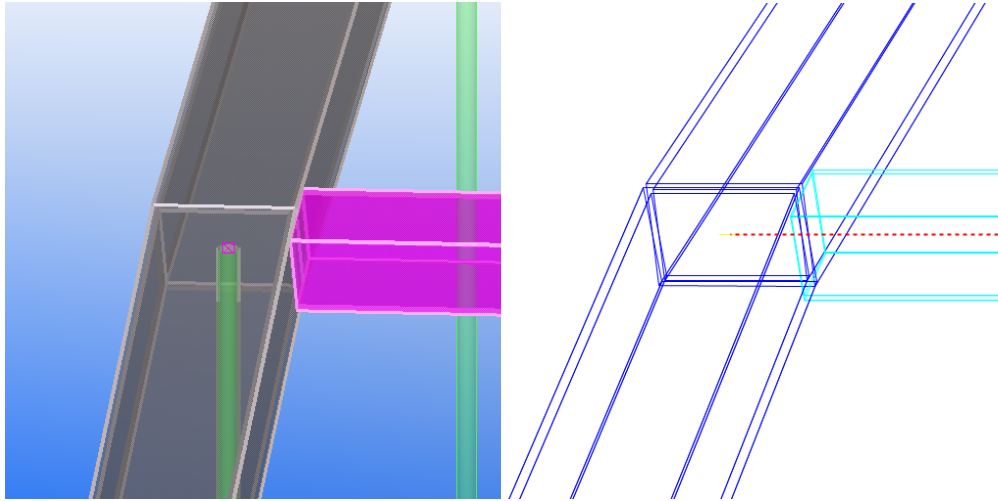
- Hur tolkas utförda avkortningar i analysmodellen?
- Hur tolkas avkortningarna i SAP2000?
- Anpassar sig avkortningarna till nya tvärsnittsdimensioner vid dimensionering SAP2000?
- Anpassar sig ursprungliga avkortningar till nya tvärsnittsdimensioner vid importering av resultat från SAP2000?

Intressanta hållpunkter för start i SAP2000 var:

- Anpassar sig utförda avkortningar till nya tvärsnittsdimensioner vid dimensionering SAP2000?
- Hur tolkas avkortningar vid exportering till Tekla Structures?

5.1.3 Förutsättningar

Avkortning tillämpades för brokonstruktionens bågavstyvare som fäster mot brons båg balkar. Avkortningarna utfördes så att bågavstyvarna fäste mot insidan av båg balken (Figur 22).



Figur 22: Anslutning mellan avkortad bågavstyvare och båg balk i Tekla Structures och SAP2000. Bågavstyvaren avkortades och fäster mot båg balkens insida.

Det finns flera olika sätt att utföra avkortningar på och avkortning kan utföras i både Tekla Structures och SAP2000. Vissa metoder för avkortning bygger på samma princip men kan utföras med olika funktioner. Nedan följer en beskrivning av hur element kan avkortas och vilka funktioner som stödjer respektive metod.

För avkortning i Tekla Structures tillämpades följande:

Avkortning med klippytor:

- *Fit part end -*
- *Cut part with line*
- *Cut part with polygon*
- *Cut part with another part*

Avkortning genom att elementets tvärsnitt manuellt försköts i förhållande till dess referenslinje:

- *End offset*

Avkortning genom att elementet fäster mot en yta istället för en systemlinje:

- *Modellering av handtag mot en yta*

Avkortning med hjälp av systemkomponenter:

- *Modellering av systemkomponenter*

För avkortning i SAP2000 tillämpades följande:

Automatisk avkortningen mot angränsande element:

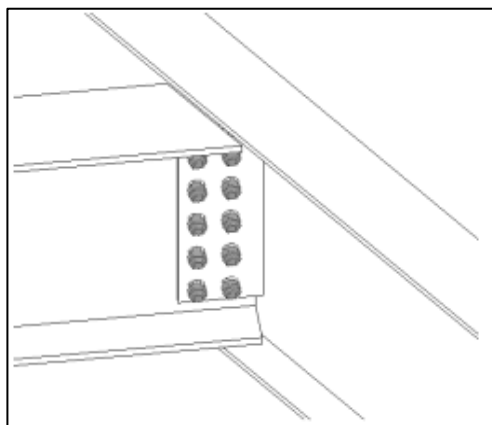
- *Automatic from Connectivity*

Avkortning genom att elementet fäster mot en yta istället för en systemlinje:

- *Define Lengths (Length) Offsets*

För att tydligt se hur avkortningarna uppförde sig gjordes ett frånsteg från förutsättningarna. Frånsteget avsåg att styra dimensioneringen av bågbalkar så de antog en ökad bredd, från ursprungliga 500mm till 600mm.

Vid analys av avkortning genom *Modellering av systemkomponenter* fogades bågbalk och bågvastvare samman med hjälp av komponenten *Shear Plate Simple (146)*



Figur 23: Exempel på systemkomponent bestående av svets- och bultförband (Tekla Corporation, 2012).

5.1.4 Genomförande – Start i Tekla Structures

För detaljerat genomförande se Bilaga I: Detaljerad redovisning av fallstudiens genomförande.

Bågvastvarna avkortades med respektive verktyg eller funktion i Tekla Structures så att de anslöt korrekt till bågbalkarna. En analysmodell skapades och exporterades till SAP2000. I SAP2000 genomfördes analys och dimensionering så att nya tvärsnittsdimensioner erhöles. Slutligen exporterades modellen till Tekla Structures och dimensioneringsresultat accepterades.

Kontroll och granskning av modellen utfördes vid: skapandet av en analysmodell i Tekla Structures, efter modell importerats till SAP2000, efter genomförd dimensionering samt efter att modell och dimensioneringsresultat exporterats tillbaks till Tekla Structures.

5.1.5 Genomförande – Start i SAP2000

För detaljerat genomförande se Bilaga I: Detaljerad redovisning av fallstudiens genomförande

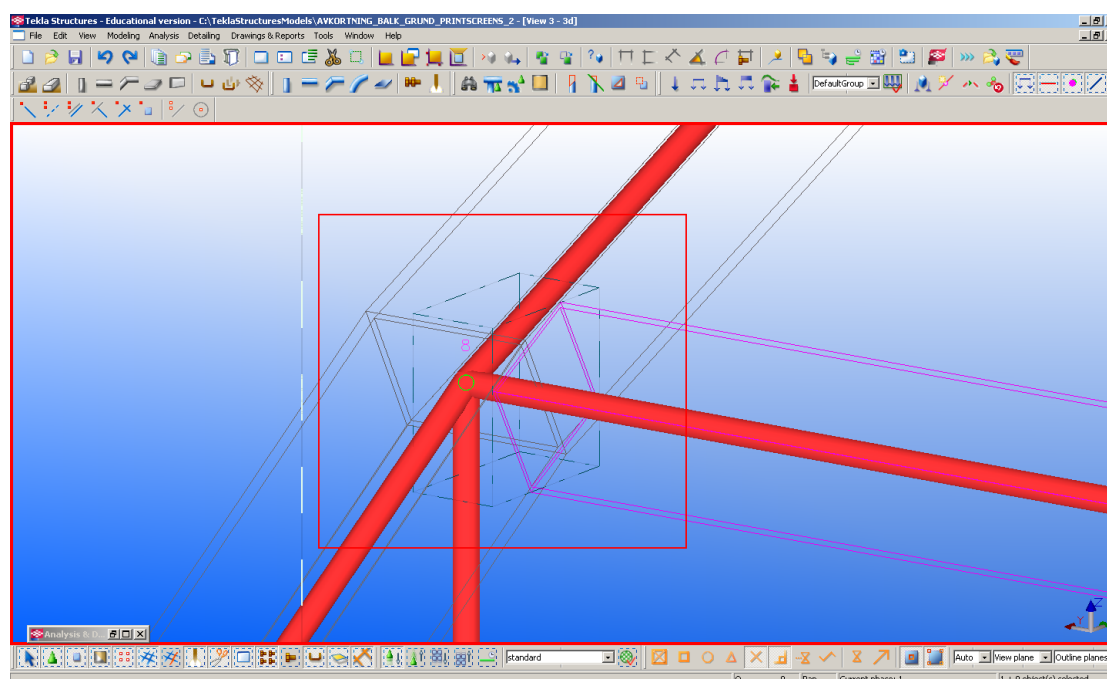
Grundmodellen öppnades i Tekla Structures. En analysmodell skapades och exporterades till SAP2000. I SAP2000 avkortades bågbalkar med verktyg och funktioner. Därefter genomfördes en analys och dimensionering och nya

tvärsnittsdimensioner erhöjls. Avslutningsvis exporterades modellen till Tekla Structures och dimensioneringsresultat accepterades.

Kontroll och granskning av modellen utfördes efter: genomförd analys och dimensionering samt efter att modell och dimensioneringsresultat exporterats tillbaks till Tekla Structures.

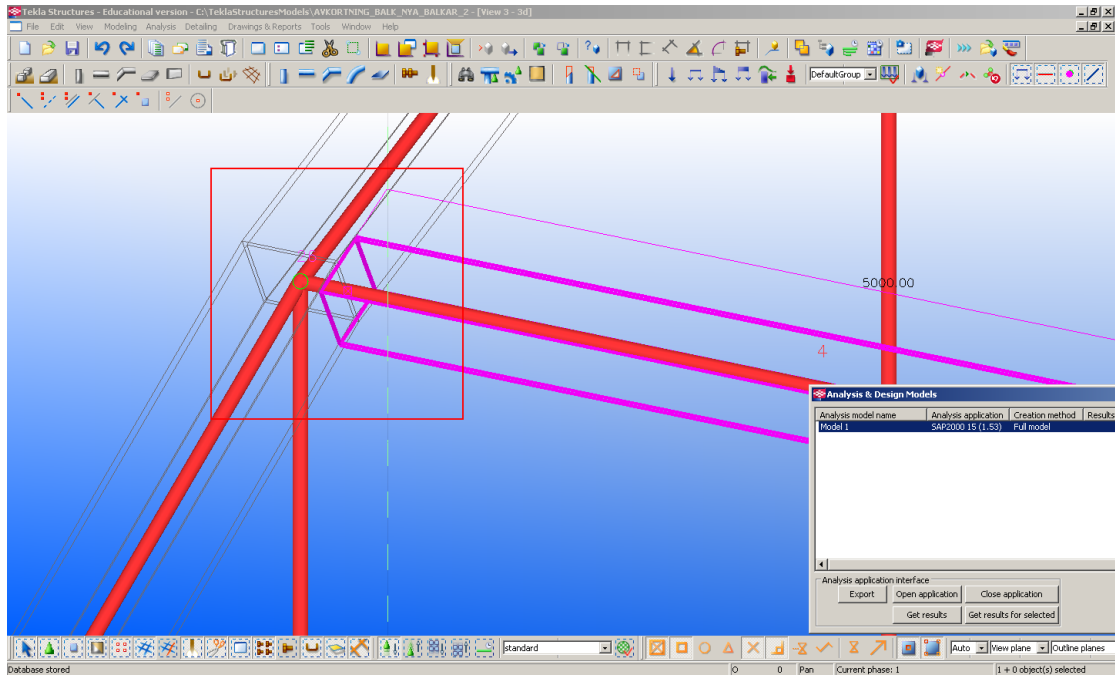
5.1.6 Resultat – Start i Tekla Structures

Vid skapandet av analysmodell i Tekla Structures gällde att tvärsnittet följde utförd avkortning och att avkortningar inte påverkades av skapandet av analysmodell. För alla sätt att avkorta, förutom för avkortning genom *Modellering av handtag mot yta*, fäste bågavstyvarens handtag mot båg balkens analyslinje (Figur 24).



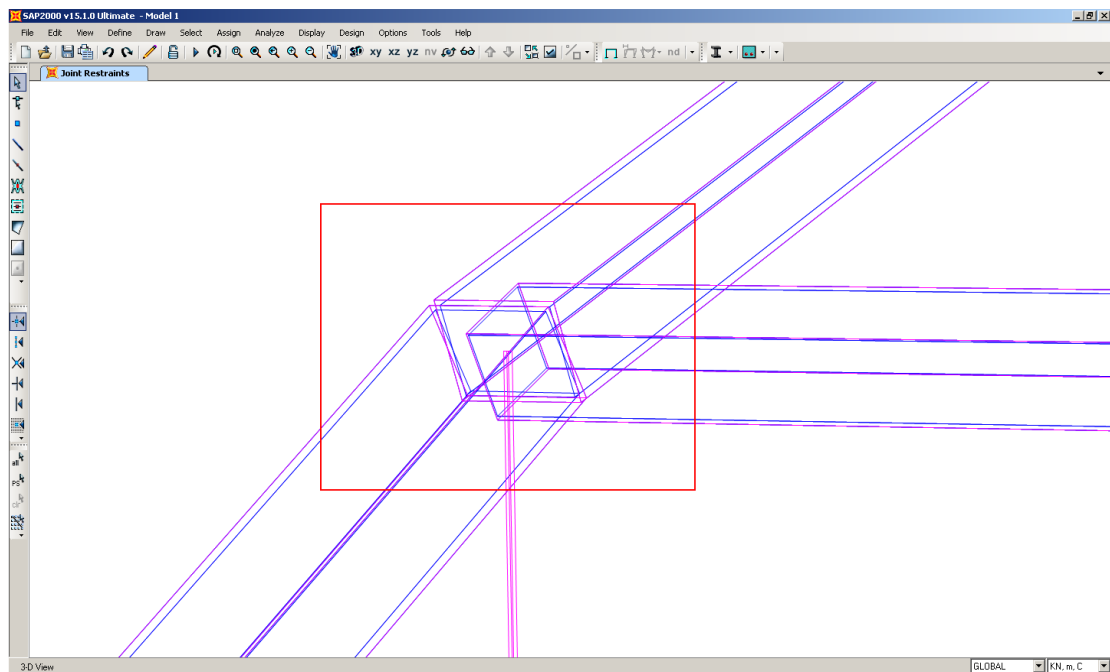
Figur 24: Bågavstyvarens handtag fäster mot båg balkens analyslinje.

För modelleringstekniken *Modellering av handtag mot yta* skapades en förlängning av bågavstyvarens analyslinje så att den fäste mot båg balkens analyslinje (Figur 25). Något som dock inte redovisas i figuren, men som kan ses i modelläget, är att bågavstyvarens handtag är placerade på båg balkens yta.



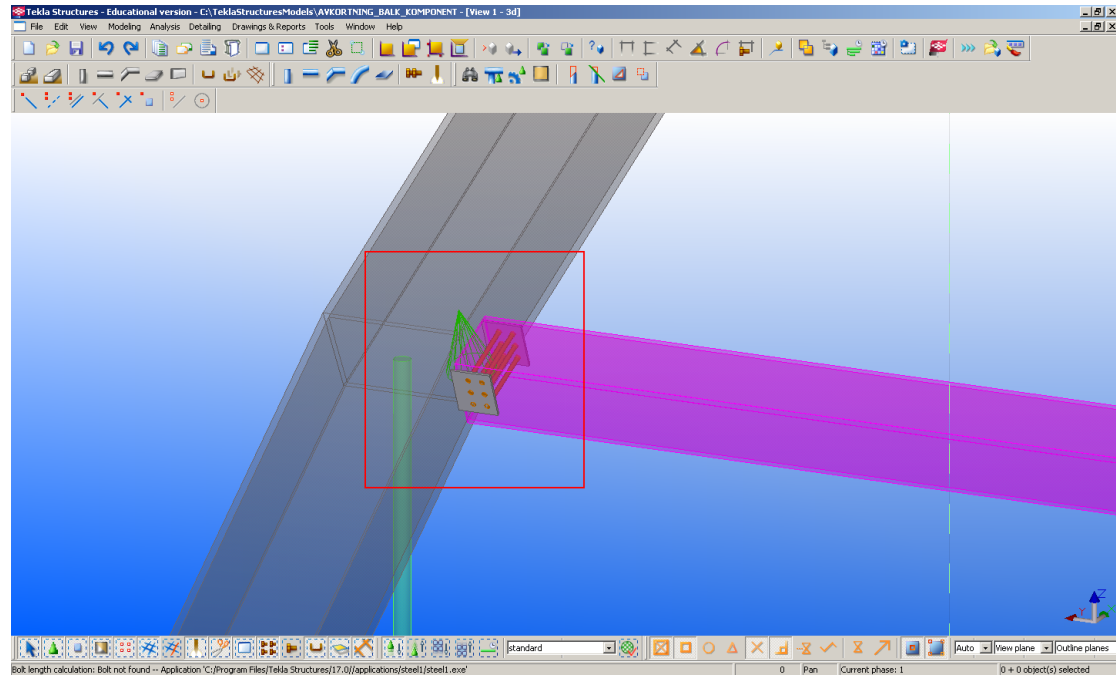
Figur 25: Bågbalkens analyslinje, för *Modellering av handtag mot yta*, förlängdes så att den fäster i bågns analyslinje.

Gemensamt för analyserna enligt *Start i Tekla Structures* är att inga avkortningar överfördes vid exportering av analysmodell till SAP2000. Utförda avkortningar återgick till sitt oavkortade läge då modellen importerades till SAP2000 och förblev så även efter dimensionering. Som det redovisas i Figur 26 går bågavstyvaren till bågbalkens centrumlinje.



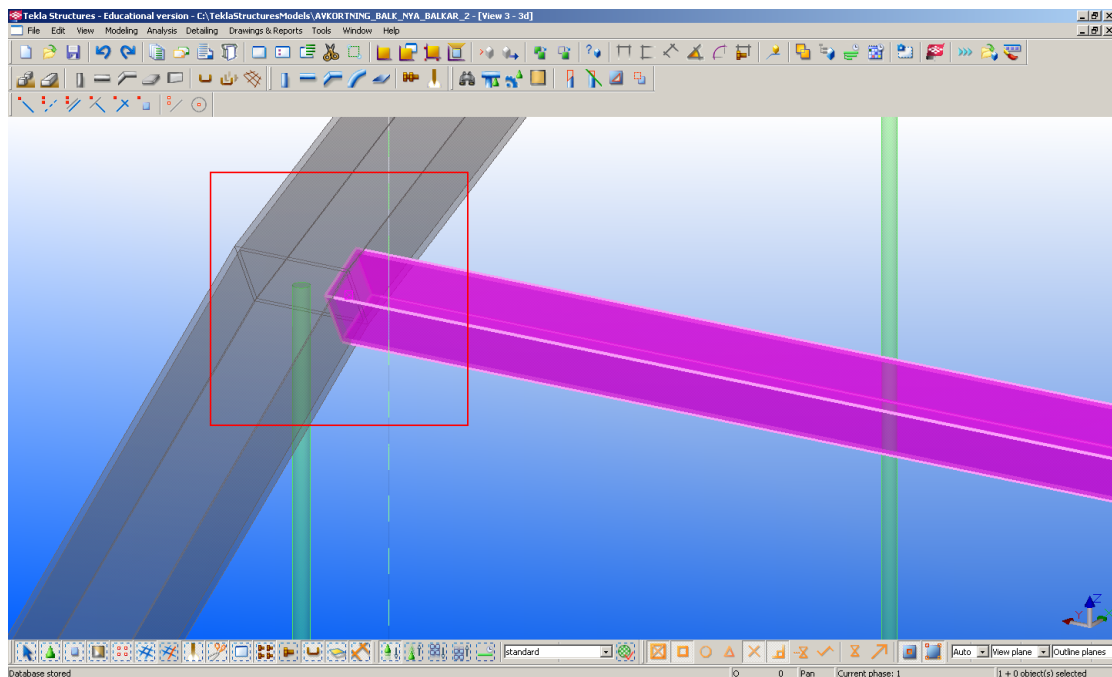
Figur 26: Avkortning har inte överförts till SAP2000, bågavstyvaren går in i bågbalken.

Då dimensionerad modell exporterades tillbaks till Tekla Structures, uppdaterades modellen med nya tvärsnittsdimensioner. Bågbalken fick en bredare dimension och påverkade ursprunglig avkortning för bågvästytaren som inte uppdaterades efter de nya dimensionerna. Endast avkortning genom *Avkortning: Systemkoppling* innebar en automatisk anpassning till den nya bågbalksbredden (Figur 27).



Figur 27: *Avkortning: Systemkoppling* innebar en automatisk uppdatering anpassad till nya dimensioner.

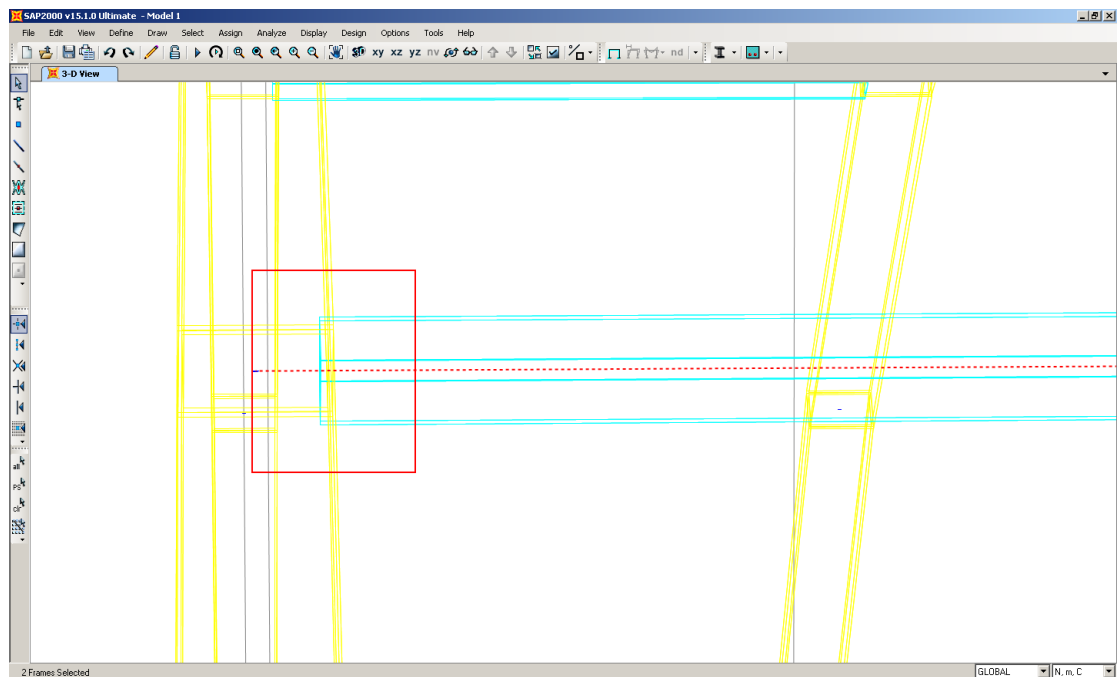
För övriga sätt att avkorta i Tekla Structures blev resultatet att avkortning ligger kvar enligt den ursprungligt utförda och uppdaterades därmed inte till den nya ytan (Figur 28).



Figur 28: Avkortningen har inte uppdaterats till nya dimensioner.

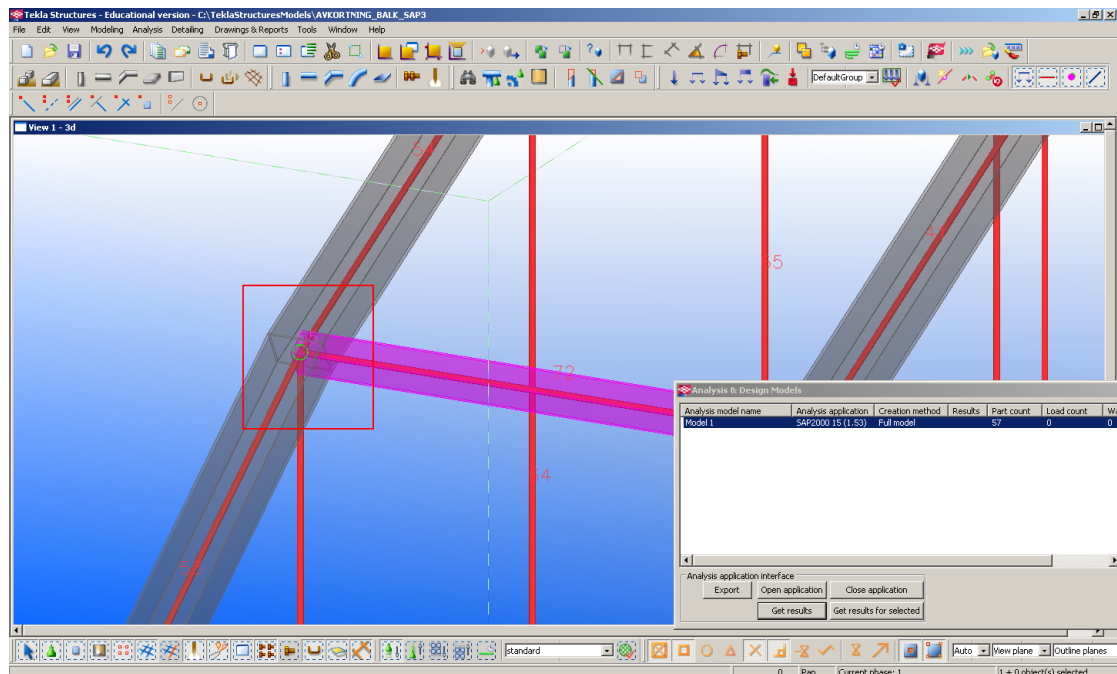
5.1.7 Resultat – Start i SAP2000

Efter dimensionering i SAP2000 skedde automatisk uppdatering av avkortningen för de element som avkortas med *Automatic from Connectivity*. Dock avkortades bågavstyvarna efter dimensionen på hängstagen och är helt oberoende av båg balkarna. Med funktionen *Define length* skedde ingen automatisk avkortning, det ansatta värdet stod kvar efter dimensionering. I Figur 29 visas att båg balkar avkortade enligt *Define length* inte uppdaterats till det bredare tvärsnittet utan är kvar på ursprunglig plats.



Figur 29: Avkortning utförd med *Define length* uppdaterades inte till efter nya dimensioner.

Avkortningar utförda i SAP2000 överfördes inte till Tekla Structures då modell och dimensioneringsresultat exporterats. Oavsett hur elementen avkortades i SAP2000 importerades de in i Tekla Structures som oavkortade element. I Figur 30 visas hur bågavstyvaren återigen fäster mot båg balkens centrumlinje.



Figur 30: Avkortning utförd i SAP2000 överfördes inte till Tekla Structures.

5.1.8 Analys och utvärdering

Att döma av analysens utfall finns vissa begränsningar för avkortningars användbarhet i integrerad projektering. I stort sett alla tekniker för avkortning utförda i Tekla Structures eller SAP2000 överfördes inte mellan programmen. Det innebär att ingen automatisk anpassning till nya tvärsnittsdimensioner sker oavsett i vilket program avkortningen utförs. Avkortningar utförda i Tekla Structures måste därför behandlas på nytt efter dimensionering i SAP2000 för en korrekt anslutning.

Vad det gäller *start i SAP2000* följde avkortningarna heller inte med vid export till Tekla Structures, utan måste utföras på nytt i Tekla Structures. Efter utförd dimensionering medgav visserligen verktyget *Automatic from Connectivity* en uppdatering till nya tvärsnitt, men det är inte särskilt användbart när avkortningen i nästa skede inte följer med. Dessutom upplevs verktyget *Automatic from Connectivity* svårt att hantera då det inte går att definiera mot vilket element som avkortningen ska utföras.

Endast avkortning genom *Modellering av systemkomponent* i Tekla Structures medgav möjligheten till automatisk anpassning till nya tvärsnitt. Det innebär att ingen manuell handpåläggning för avkortning med den här metoden krävs. Möjligheten har dock en begränsning i att systemkomponenter inte är tillämpbara för alla konstruktioners avkortningar. Till exempel måste vissa element utföras genom att en klippyta skapas. Därför är avkortning genom *Modellering av systemkomponenter* ingen helhetslösning då den kräver komplettering.

Modellering av systemkomponenter har begränsad användbarhet i det tidiga skedet då detaljer oftast inte beaktas. I ett senare skede, detaljprojekteringen, finns större användbarhet. I detaljprojekteringen har konstruktionen vanligtvis tilldelats komponenter och efter eventuell omdimensionering i SAP2000 uppdateras systemkomponenterna automatiskt.

Slutsatsen kring avkortningars möjligheter och begränsningar var att de är mest tillämpbara genom avkortning med *Modellering av systemkomponenter*. Framförallt i detaljprojekterings ändringsskeden finns stor användbarhet. Metoden att avkorta är dock begränsad då inte alla avkortningar kan utföras med tilldelning av en systemkomponent. Övriga sätt att avkorta kräver manuell handpåläggning och dess användbarhet ses därmed som begränsad.

Det går inte att komma ifrån behovet av manuell handpåläggning vid avkortning. Utförda avkortningar överförs inte mellan Tekla Structures och SAP2000, samt uppdateras inte automatiskt till anslutande element. För att undvika onödigt dubbelarbete bör därför avkortningar utföras så sent som möjligt i projekteringen. Systemkomponenter kan i viss mån minska den manuella handpåläggningen. Det gäller dock för de avkortningar som är lämpliga att utföras som systemkomponenter.

För detaljprojekteringen är det positivt att systemkopplingar medgav en automatisk anpassning till nya tvärsnitt. Det minskar behovet av handpåläggning då en konstruktion möter ändringar och behöver dimensioneras på nytt.

Avkortningar rekommenderas att tillämpa i ett så sent skede som möjligt i projekteringen. För projektörens del innebär det minst dubbelarbete och mest effektivitet. Om projektören behöver avkorta i tidigt skede bör Modellering med systemkomponenter tillämpas. Konstruktören erhåller alltid en oavkortad modell och är fria att använda valfritt verktyg för avkortning.

Avkortningar utförda i Tekla Structures påverkade inte analysmodellens sammansättning. Därmed anses avkortningar inte innebära någon risk för att systemmodellen ska bli felaktig för dimensioneringsprocessen.

Däremot anses det finnas en risk i att nya tvärsnittsdimensioner i de flesta fall leder till felaktiga avkortningar eftersom ingen automatiskt uppdatering av avkortningen sker. Här föreligger alltså en risk för att avkortningar kan missas att uppdateras och därmed leda till felaktiga ritningsunderlag. Det är därför viktigt att ha kontroll på nya vilka tvärsnittsdimensioner som ändrats vid dimensionering.

I och med att avkortningar som utfördes i SAP2000 inte överfördes till Tekla Structures är det endast projektören som kan utföra avkortningar i den interaktiva processen. Av den anledningen måste projektören ansvara för att avkortningar är uppdaterade och korrekta i modellen. Projektören bör även ansvara för inhämtande av ändrade tvärsnittsdimensioner från dimensionering i SAP2000. För kontroll av vilka dimensioner som ändrats och därmed avkortningar som behöver justeras.

För att öka kontrollen över vilka tvärsnittsdimensioner som innebär en förändring mot ursprungliga dimensioner kan ändrade tvärsnittsdimensioner kontrolleras med funktionen *Get Results*. För att ytterligare få kontroll på vilka avkortningar som behöver uppdateras bör även projektören tillämpa funktionen *Clash Check*. Med *Clash Check* kontrolleras anslutningar mellan element så att de inte skär varandra. Även om *Get Results* och *Clash Check* tillämpas finns viss risk för att uppdaterade avkortningar missas vid kontroll. Det här beror på att funktionen *Clash Check* inte upptäcker avkortningar där element inte skär varandra. Element som inte skär varandra kan uppstå om dimensionering leder till minskade tvärsnittsdimensioner. Risken minskar om avkortningar utförs med systemkomponenter.

5.1.9 Slutsats

För att erhålla en effektiv och kvalitetssäker interaktiv projektering med avseende på avkortningar bör projektören ansvara för att utföra och uppdatera dem. Vidare bör de beaktas i ett så sent skede som möjligt för att minska handpåläggningen vid nya tvärsnittsdimensioner.

Om projektören önskar att utföra avkortningen i ett tidigt skede bör avkortning med systemkomponenter tillämpas. På så sätt kan avkortningar hanteras effektivt. I detaljprojekteringen bör systemkomponenter användas i hög grad då de vid omdimensionering automatiskt uppdateras mot nya tvärsnittsdimensioner.

För aspekter kring kvalitetssäkerhet gäller att avkortningar inte påverkade analys- respektive systemmodellens sammansättning. Det föreligger dock en stor risk i att avkortningar inte uppdateras automatiskt vid ändrade tvärsnittsdimensioner och kan därför missas att uppdateras. För att ha kontroll på avkortningars aktualitet bör projektören vara ansvarig aktör att kontrollera detta. Genom att tillämpa funktionen *Get Results* samt funktionen *Clash Check* kan viss kontroll på avkortningars aktualitet fås. För ökad kontroll på uppdatering av även avkortningar kan systemkomponenter med fördel användas då de automatiskt uppdaterar sig till nya tvärsnittsdimensioner.

5.1.10 Rekommendation

Projektören rekommenderas att utföra avkortningar i ett sent skede. I ett tidigt skede rekommenderas projektören att avkorta genom *Modellering av systemkomponenter*. Avkortningar utförda med systemkomponenter uppdateras med nya tvärsnittsdimensioner.

- Element avkortade i Tekla Structures överför inte till SAP2000 oavsett verktyg.
- Alla avkortningar utom systemkomponenter uppdateras inte mot nya tvärsnittsdimensioner efter dimensionering.

Vid avkortning med andra verktyg bör utförda avkortningar noggrant kontrolleras då nya tvärsnitt hämtas efter dimensionering. Kontrollen bör genomföras med hjälp av *Get Results* och *Clash Check*. Tänk på att Clash Check endast registrerar element som skär.

Konstruktören rekommenderas att använda valfritt verktyg för avkortning i SAP2000 efter behov. Det gäller för såväl systemprojektering som detaljprojektering.

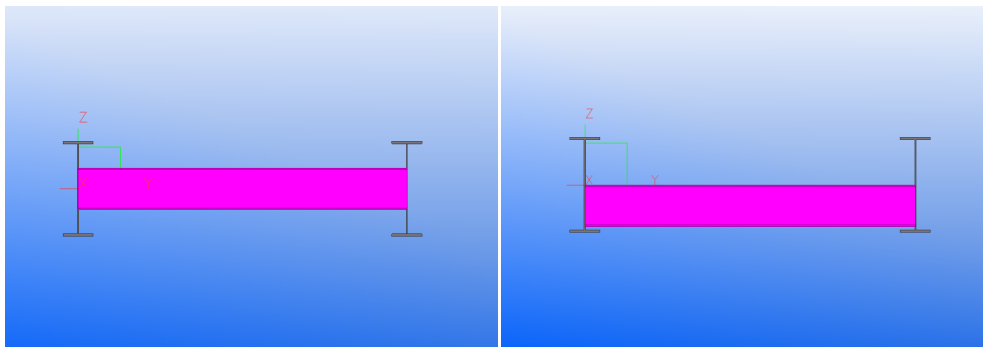
- Element avkortade i Tekla Structures överför inte till SAP2000 oavsett verktyg.
- Konstruktören erhåller alltid en oavkortad modell vid import till SAP2000.
- Avkortningar utförda i SAP2000 överförs inte till Tekla Structures.

5.2 Analys: Förskjutning av tvärbalkar

5.2.1 Bakgrund

Var balkar ska ansluts beror helt på förutsättningarna för konstruktionen. I de flesta fall ansluts två balkar så att deras centrumlinjer placeras på samma höjd. Men i vissa fall förskjuts deras centrumlinjer och skapar en osymmetri.

I grundmodellen är alla element modellerade till centrumlinjer. Ett exempel för förskjutning är att tvär och långbalkarna kan förskjutas nedåt (Figur 31). Före förskjutning är huvudbalken och tvärbalkens centrumlinje placerad på samma nivå för att sedan förskjuta tvärbalkarna nedåt.



Figur 31: Före och efter förskjutning av tvärbalk mot huvudbalk.

Placering och anslutning av element påverkar beräkning då excentricitet uppstår. Förskjutning kan utföras på flera olika sätt men gemensamt är att excentriciteten måste beaktas. Med hjälp av styva länkar, *Rigid links*, kan programmen räkna om elementens noder i förhållande till ursprungligt och förskjutet läge. De styva länkarna kan i program definieras och justeras enligt villkor. Element kan även förskjutas i förhållande till sin referensaxel utan att styva länkar används. Programmen tar automatiskt hänsyn till förskjutningen utan att det redovisas i modellen.

5.2.2 Syfte

Syftet med att undersöka förskjutningar av balkar var att erhålla om det är möjligt att överföra modeller där element har förskjutits i höjddled i förhållande till angränsande element. Hur olika modelleringsmetoder påverkar sammansättningen av systemmodellen och exporteringsprocessen, samt hur olika modelleringsmetoder ger utslag i analys och dimensionering.

Intressanta hållpunkter Start i Tekla Structures var:

- Hur tolkas förskjutningen i analysmodellen?
- Hur tolkas förskjutningen i SAP2000?
- Hur ser systemmodellen ut i SAP2000 efter dimensionering?
- Hur tolkas ändringar gjorda i SAP2000 i Tekla Structures?

Intressanta hållpunkter i Start i SAP2000 var:

- Hur tolkas förskjutningen i systemmodellen?
- Hur ser systemmodellen ut i SAP2000 efter dimensionering?
- Hur tolkas förskjutningen i Tekla Structures?

5.2.3 Förutsättningar

Förskjutning av balk tillämpades på tvär- och långbalkar. Balkarna försköts gemensamt i negativ z-riktning halva tvärbalkens höjd.

För förskjutning av balkar i Tekla Structures studerades följande metoder

Ändra position i balkens egenskaper:

- *Properties - Position*

Flytta balken manuellt,

- *Move Linear*

Förskjutning av tvärsnitt till systemlinje:

- *Member Axis Location*

För förskjutning av balkar i SAP2000 studerades följande metoder:

Flytta balken manuellt:

- *Move*

Förskjutning av tvärsnitt till systemlinje:

- *Insertion Point*

5.2.4 Genomförande – Start i Tekla Structures

För detaljerat genomförande se Bilaga I: Detaljerad redovisning av fallstudiens genomförande.

Tvärbalkar och långbalkar försköts i Tekla Structures så att överkant på tvärbalken sammanföll med centrumlinjen för huvudbalken. Analysmodell skapades och exporterades till SAP2000. Modellen dimensionerades i SAP2000 och resultatet importerades till Tekla Structures.

Kontroll och granskning av modellen i respektive program skedde då: analysmodell skapats i Tekla Structures, modellen importerats i SAP2000, efter dimensionering i SAP2000 och sista kontroll då modellen uppdaterats i Tekla Structures efter dimensionering.

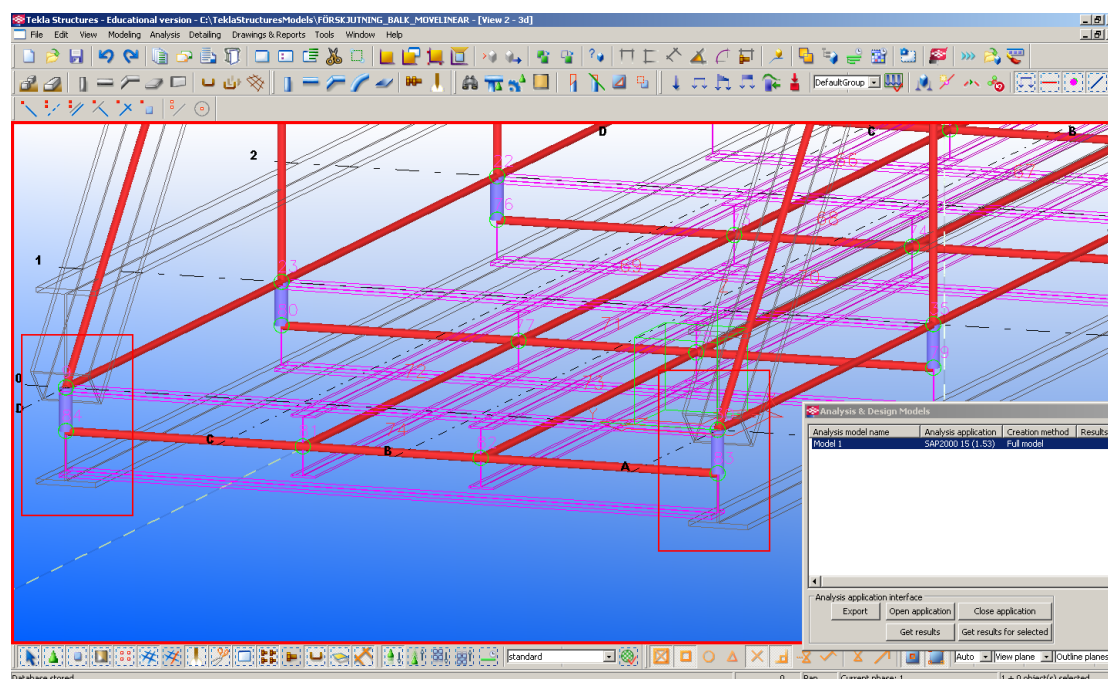
5.2.5 Genomförande – Start i SAP2000

För detaljerat genomförande se Bilaga I: Detaljerad redovisning av fallstudiens genomförande.

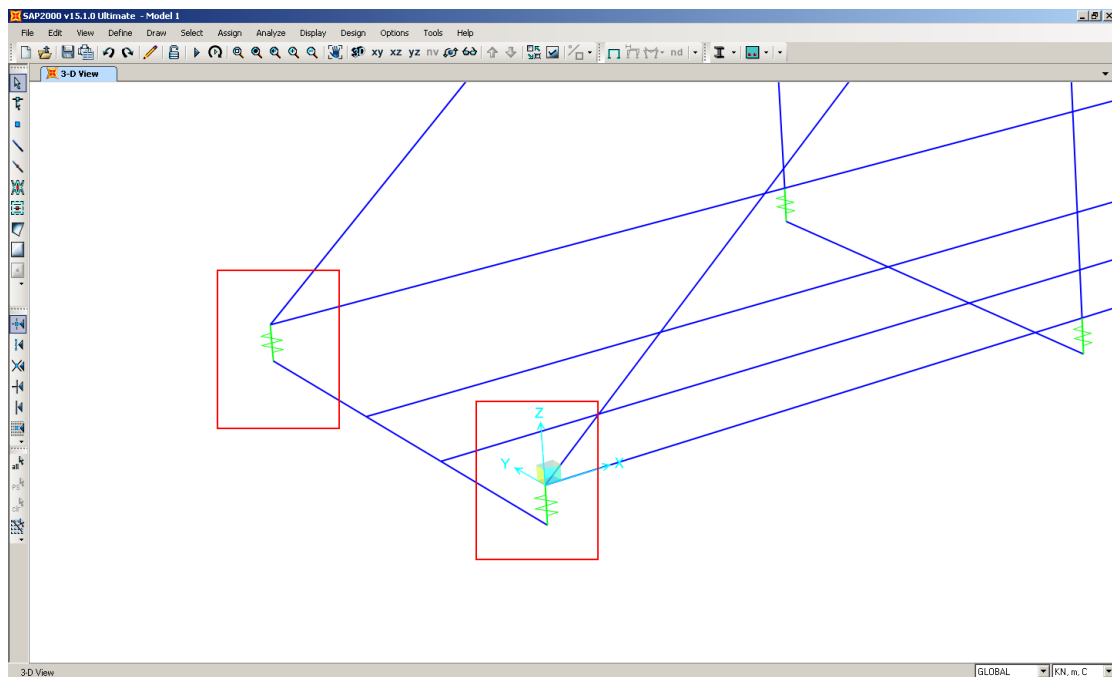
Analysmodellen i Tekla Structures exporterades direkt till SAP2000 utan förskjutningar. I SAP2000 utfördes förskjutningar och kontroll av noder och systemlinjer. Modellen dimensionerades i SAP2000 och resultatet hämtades till Tekla Structures. I Tekla Structures uppdaterades modellen och noder, systemlinjer samt förskjutningar kontrolleras för att undersöka hur Tekla Structures har tolkat förskjutningarna gjorda i SAP2000.

5.2.6 Resultat – Start i Tekla Structures

Förskjutningar utförda i Tekla Structures med verktygen *Move Linear* och *Member Axis Location* fungerade att överföra till SAP2000. I Tekla Structures skapades styva länkar, *Rigid links*, i noder som översattes till *Links* i SAP2000 där dessa två anslutningar hade samma egenskaper (Figur 32). Systemlinjer och tvärsnitt var placerade likadant i Tekla Structures och SAP2000 (Figur 33).

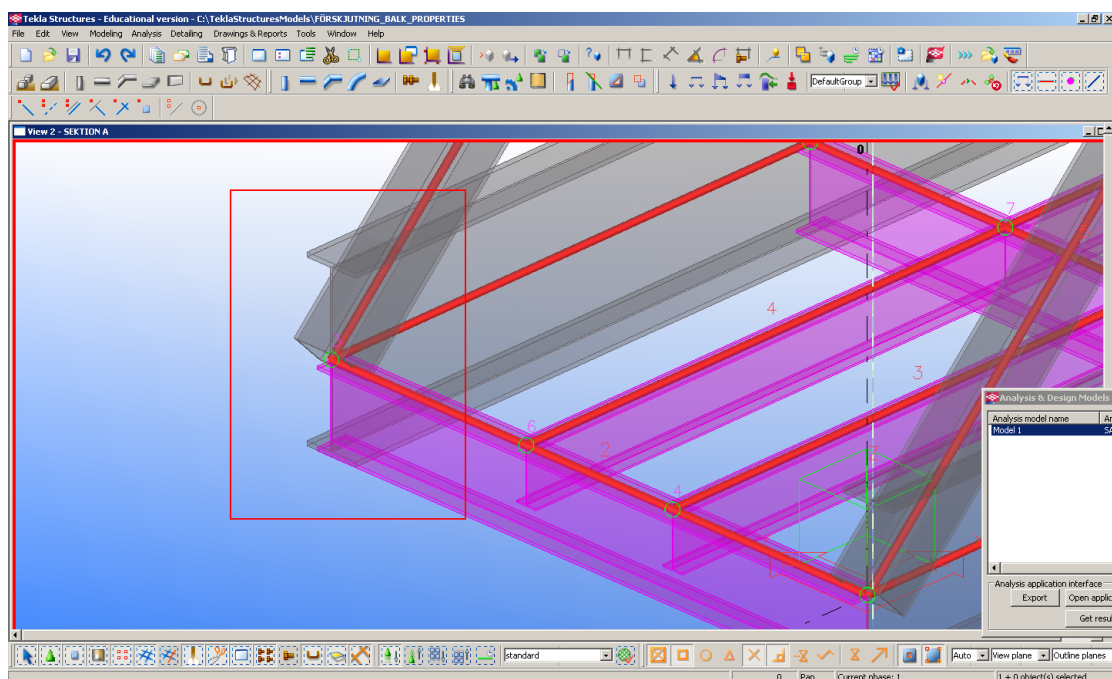


Figur 32: Förskjutning utförd med *Move Linear* i Tekla Structures. Styva länkar har automatiskt skapats.



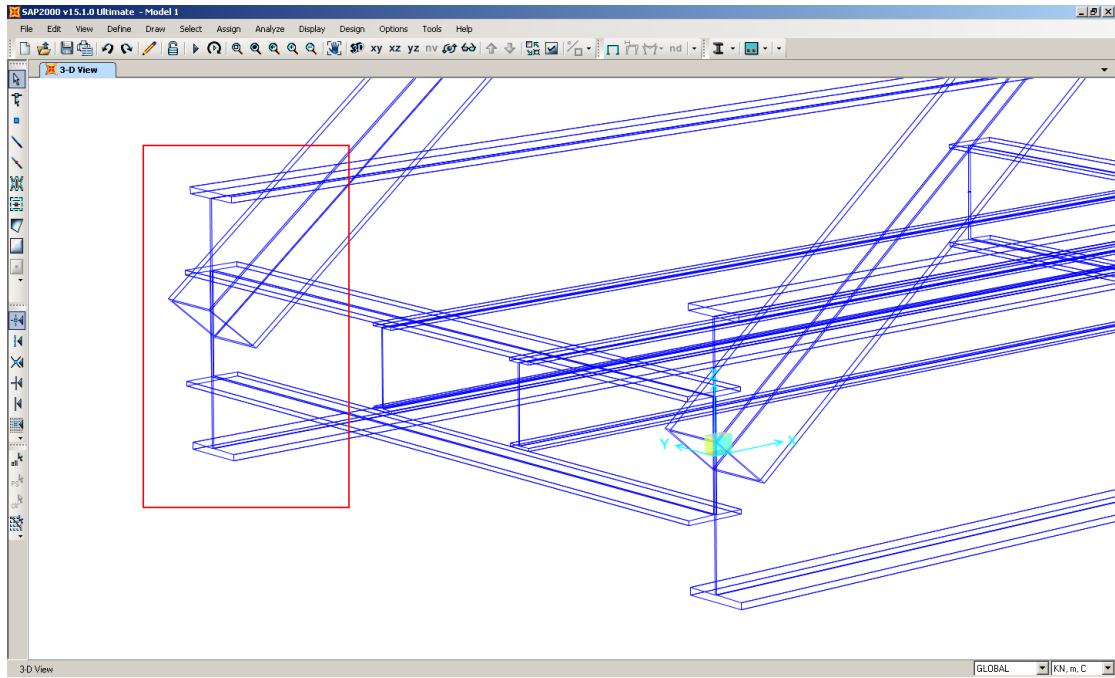
Figur 33: Förskjutning och styva länkar har överferts till SAP2000.

Förskjutningar utförda med *Properties – Position* överfördes inte från Tekla Structures till SAP2000. I Tekla Structures försköts balken men inte analyslinjen som låg kvar på samma koordinater men nu i ovankant på tvärsnittet (Figur 34).



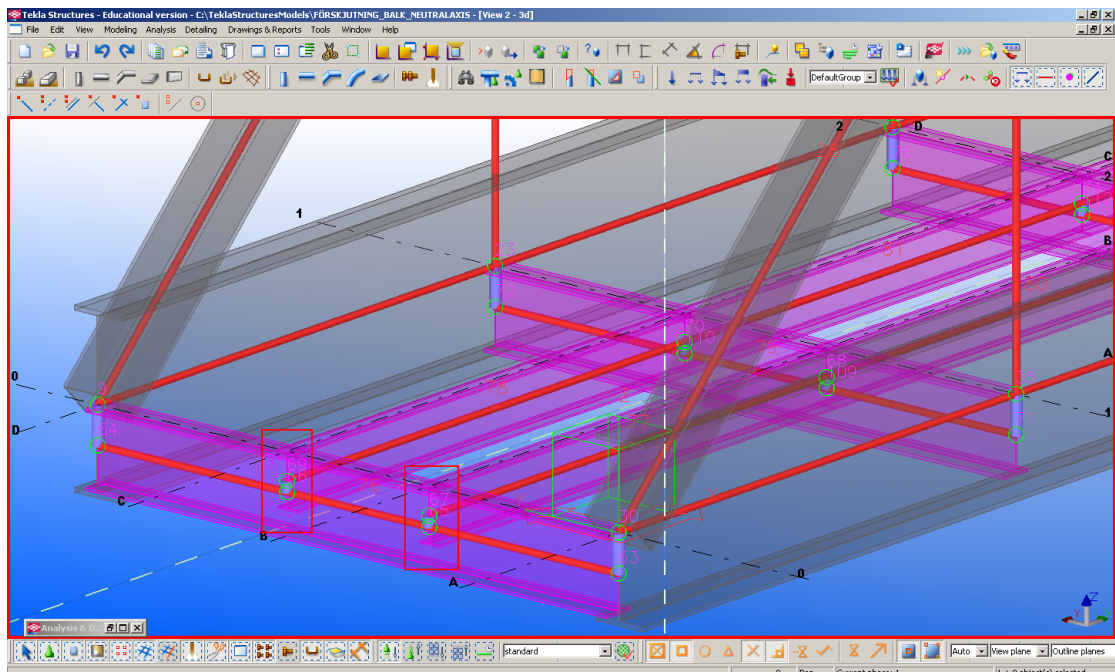
Figur 34: Förskjutning med *Properties* i Tekla Structures. Elementen har förskjutits i förhållande till sin referenslinje.

När modellen exporterades till SAP2000 var systemlinjen på rätt position men tvärsnittet har inte förskjutits i förhållande till systemlinjen. Det vill säga systemlinjen var placerad i centrumlinjen för tvärsnittet och inte ovankant som definierades i SAP2000 (Figur 35).



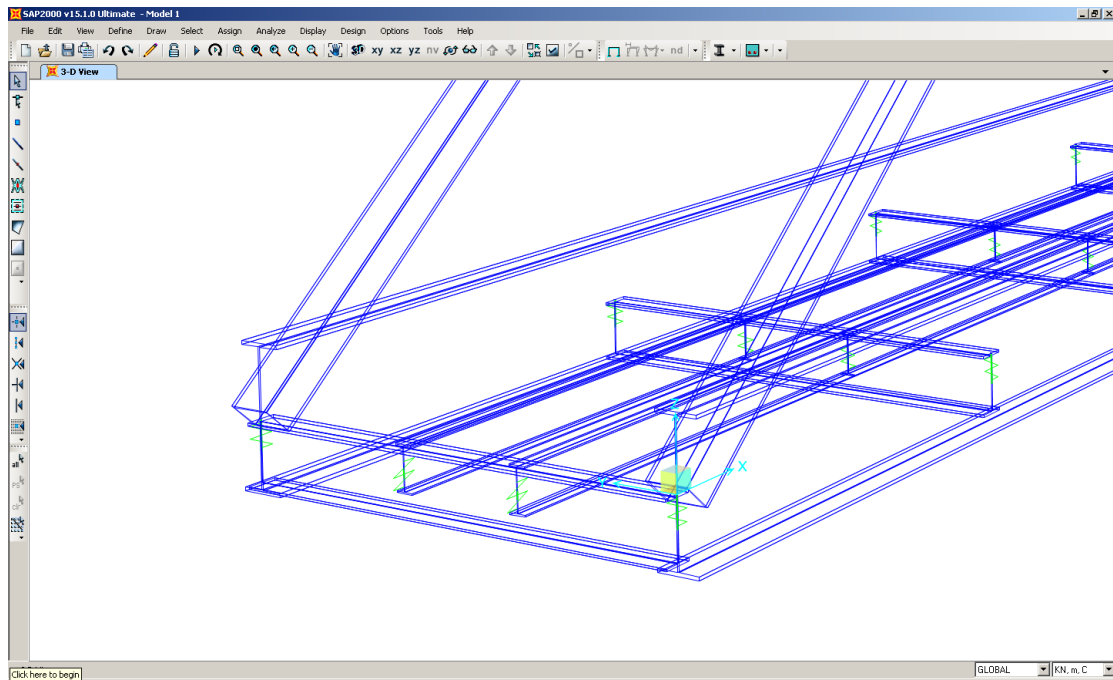
Figur 35: Förskjutning med *Properties* överförd till SAP2000. Förskjutningen har inte överförts, elementen är placerade centriskt om systemlinjen.

I analysen *Member Axis Location* försköts elementet först med *Properties* och sedan justerades analyslinjen så att den placerades i centrumlinjen för elementet se Figur 36 på så sätt placerades elementens ovkant på samma nivå och ett bildade ett referensplan. Styva länkar skapades automatiskt i analysmodellen.



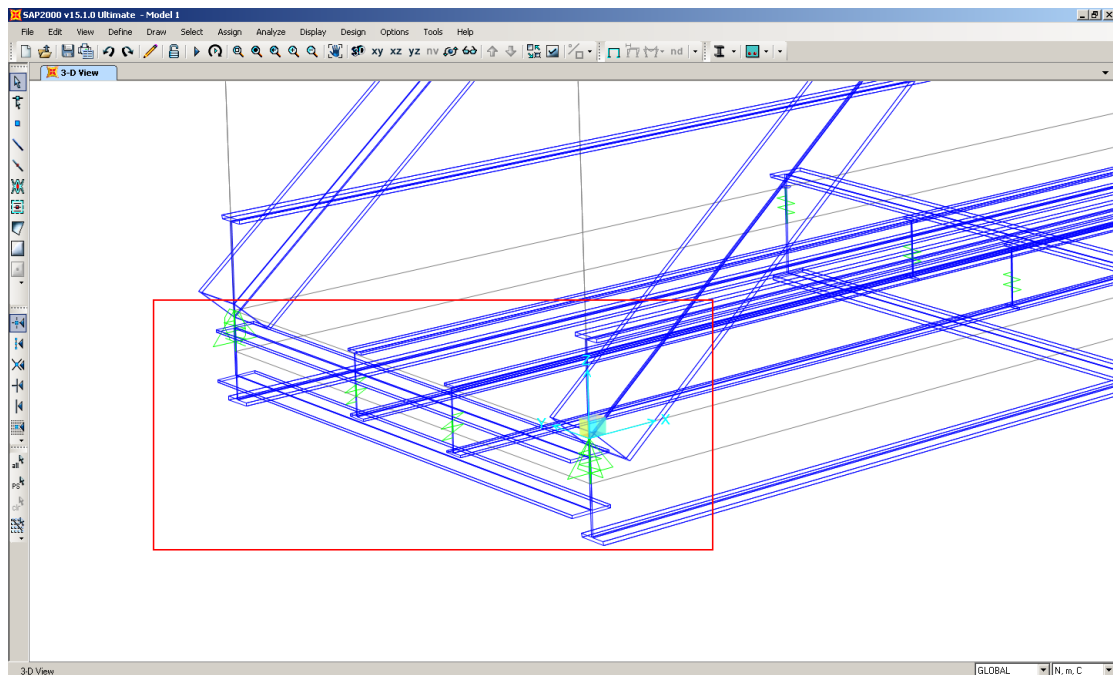
Figur 36: Förskjutning med funktionen *Member Axis Location* i Tekla Structures. Elementet försköts först med *Properties* och flyttades sedan analyslinjen till centrumlinjen.

I SAP2000 öppnades modellen med förskjutningar och styva länkar. Ovkant på elementen bildade ett referensplan (Figur 37).



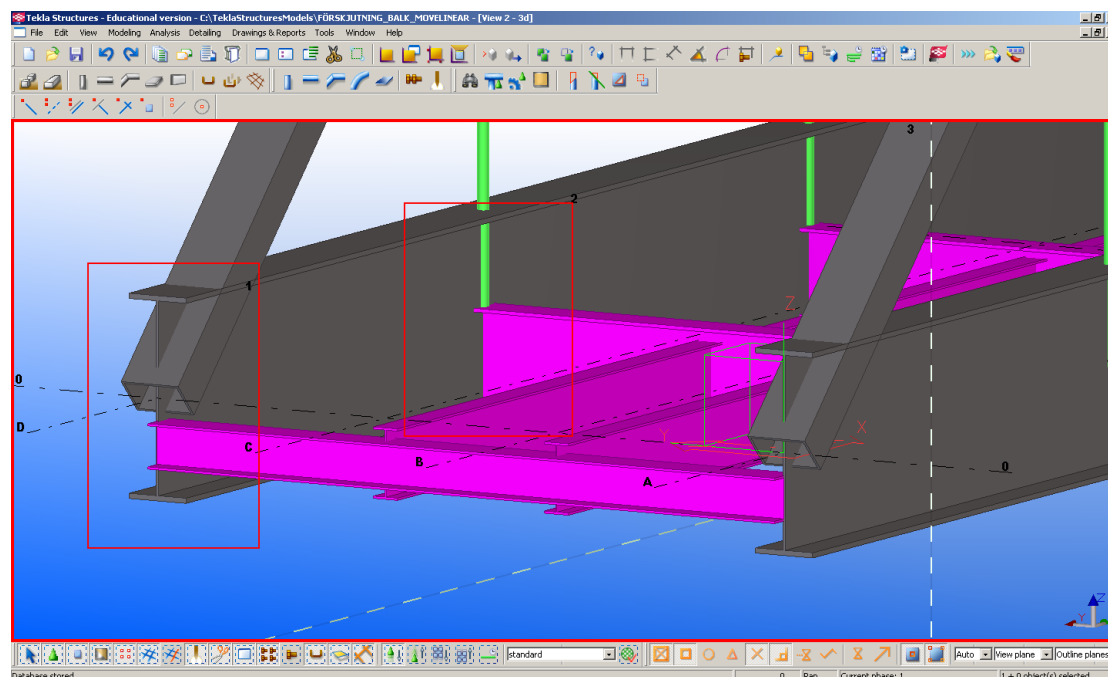
Figur 37: Förskjutning utförd med *Member Axis Location* exporterad till SAP2000. Styva länkar överfördes och ovkant elementen bildade ett plan.

Efter dimensionering har tvärsnittens dimension utvecklats centriskt kring centrumlinjen. Det vill säga elementet har ökade eller minskade höjd lika mycket på båda sidor om centrumlinjen vilket medförde att ovkant för elementen har justerats, referensplanet är borta (Figur 38). Det beror på att de styva länkarna har konstant längd.



Figur 38: Efter dimensionering med funktionen *Member Axis Location* uppdaterades tvärsnitten centriskt. Referensplanet är borta.

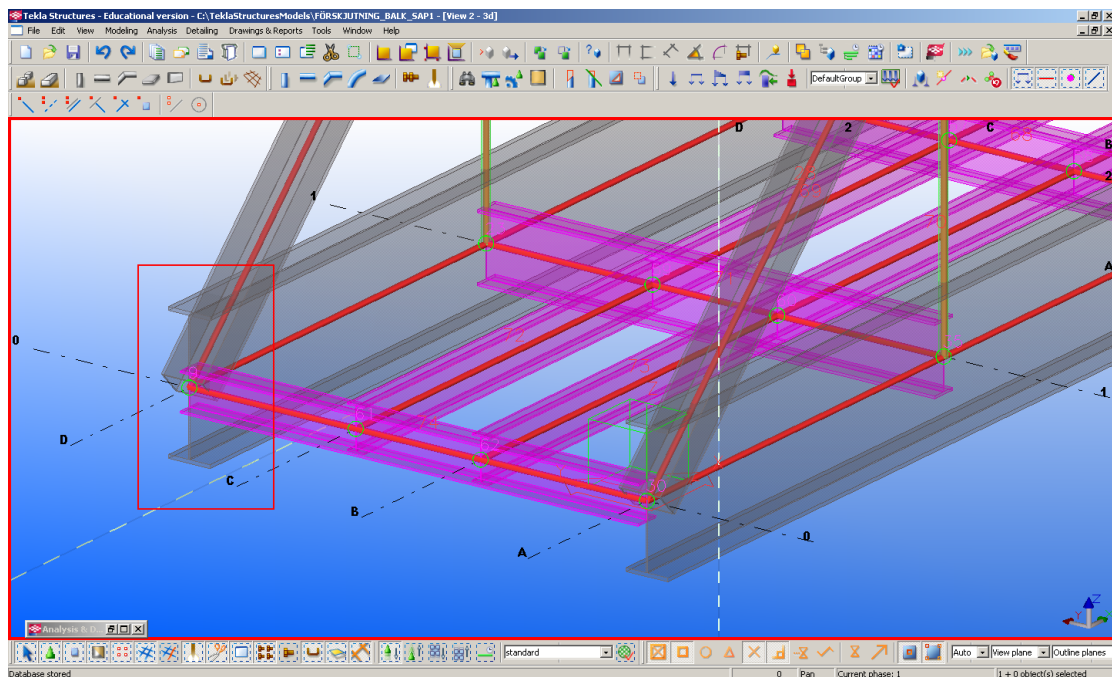
Gemensamt för de tre fallen är att när dimensioneringsresultatet hämtades till Tekla Structures och modellen uppdaterades så fick modellen samma uppbyggnad som före dimensionering. Det vill säga att förskjutningen utförd i Tekla Structures är korrekt. Med *Move Linear* uppdaterades tvärsnitten centriskt (Figur 39) men för *Properties* och *Member Axis Location* uppdaterades tvärsnitten nedåt och referensplanet förblev intakt.



Figur 39: Förskjutning utförd med *Move Linear* efter att modellen uppdaterats med nya tvärsnittsdimensioner i Tekla Structures.

5.2.7 Resultat – Start i SAP2000

Förskjutningar utförda i SAP2000 överfördes inte till Tekla Structures oavsett verktyg. Vid uppdatering av modellen i Tekla Structures efter analys och dimensionering så uppdaterades tvärsnitt som sig bör. Dock hade inte förskjutningarna ifrån SAP2000 något genomslag (Figur 40).



Figur 40: Förskjutningar utförda i SAP2000 överfördes inte till Tekla Structures vid uppdatering av nya tvärsnittsdimensioner.

5.2.8 Analys och utvärdering

Förskjutning i Tekla Structures och SAP2000 utfördes med liknade metoder. Förskjutningar utförda i Tekla Structures överfördes till SAP2000 i olika grad och det finns potential till effektiv och säker process. Förskjutningar utförda i SAP2000 överfördes dock inte till Tekla Structures.

Med verktyget *Move Linear* bestämdes ett specifikt avstånd som elementet förskjuts i förhållande till ursprunglig position. Verktyget är enkelt att använda och det skapades automatiskt styva länkar, *Rigid links*, som överförs till SAP2000. Enkelt handhavande och att förskjutningen överfördes gör *Move Linear* till en effektiv och säker lösning.

Uppdatering av nya dimensioner, med förskjutning utförd med *Move Linear*, i Tekla Structures påverkade inte förskjutningen då ändrade tvärsnittsdimensioner ändrades kring centrumlinjen. Elementens centrumlinje behöll förskjutningen som förblev konstant genom processen. *Move Linear* är fördelaktig då konstruktionen inte behöver ta hänsyn något referensplan eller varierande dimensioner. Om ett referensplan behöver beaktas så innebär *Move Linear* att elementen manuellt bör förskjutas på nytt då varierande elementhöjder skapar olika nivåer. Justering av förskjutningar innebär nya beräkningsförutsättningar och därmed en omdimensionering. Det ligger en stor risk i att justera förskjutningar i efterhand.

Properties – Position var lättåtkomligt i menyn för elementets egenskaper och gör att användaren kan förflytta tvärsnitt utifrån ursprungligt angiven position. Oberoende av dimension på elementen får de samma förskjutning utifrån ursprunglig position. Det förenklar för projektören som snabbt och enkelt kan skapa ett referensplan då tvärsnittens överkant fick samma förskjutning. Med funktionen *Properties* försköts

elementet i förhållande till sin referenslinje det vill säga referenslinjen ligger kvar på samma position och endast tvärsnittet försköts.

Vid överföring till SAP2000 var systemlinjen korrekt placerad men tvärsnittet var inte förskjutet i förhållande till systemlinjen. Det gjorde att förskjutningen utförd i Tekla Structures inte går att utläsa i SAP2000 och innebär är en stor risk för felaktiga förutsättningar och beräkningsresultat. Konstruktören måste manuellt förskjuta elementen på samma sätt som projektör utfört i Tekla Structures. Vid uppdatering i Tekla Structures med nya tvärsnitt är elementen korrekt förskjutna och det tänkta planet består.

Förskjutning med *Member Axis Position* bildade ett referensplan som överfördes korrekt till SAP2000. Funktionen utfördes i två steg men var lätt och logisk att använda. I analysmodellen skapades automatiskt styva länkar som överfördes korrekt till SAP2000. Det medför kvalitetssäkerhet då inte modellen riskerar att feltolkas mellan programmen. Dock innebär de styva länkarna en risk i SAP2000 vid dimensionering. De innehåller konstant längd genom hela processen vilket gör att tvärsnitten uppdateras centriskt i SAP2000. Det medför att ovankant på elementen inte längre har samma nivå och referensplanet tappar sin funktion. Efter uppdatering av nya tvärsnittsdimensioner i Tekla Structures behövs dock referensplanet som definierats i programmet. Men det innebär att modellerna i respektive program inte ser likadana ut och beräkningen stämmer inte överens med modellen i Tekla Structures. Det medför en stor risk för felaktiga resultat vilket lätt kan missas i processen.

Förskjutningar av balkar gick att genomföra i både Tekla Structures och SAP2000. Utförs förskjutningen i SAP2000 finns det risker att den slutliga modellen och ritningar till projektet blir felaktiga eftersom förskjutningen inte överförs. De olika verktygen utförs på liknande sätt men Tekla Structures anses vara mer lätthanterligt. Förskjutningar bör utföras i ett tidigt skede i processen för att beräkning ska bli korrekt. I Tekla Structures skapades styva länkar automatiskt vid skapandet av analysmodell vilket saknades i SAP2000 samt att användargränssnittet var bättre i Tekla Structures.

Utförs förskjutningen i SAP2000 finns det risker att den slutliga modellen och ritningar till projektet blir fel eftersom förskjutningen inte överförs. Om förskjutningen utförs i SAP2000 måste detta meddelas till projektören när modellen lämnas över.

5.2.9 Slutsats

Det enklaste är att använda *Move Linear* i Tekla Structures. Verket är lätt att använda och kräver inget kompletterande moment som riskerar att missas. Styva kopplingar skapas automatiskt mellan ursprunglig och förskjuten position så att element inte riskerar att sakna anslutning. Dock är förskjutningen låst till ett specifikt avstånd.

Om ett referensplan önskas bör elementet förskjutas i Tekla Structures med *Propertis* så att analyslinjen placeras i ovankant. Morsvarande funktion i SAP2000 bör sedan användas för att modell och beräkning ska motsvaras. Vid uppdatering i Tekla Structures behålls referensplanet med nya dimensioner.

5.2.10 Rekommendation

Projektören rekommenderas att förskjuta element med *Move Linear* eller *Properties*. *Move Linear* bör användas då tvärsnitten ska förskjutas ett specifikt avstånd.

- Efter dimensionering kommer elementen att växa centriskt kring referensaxeln.
- Rigid links skapas automatiskt i analysmodellen som överförs till SAP2000.

Properties bör användas då elementens ovan- eller underkant önskas placeras på samma nivå, referensplan, oavsett tvärsnittsdimension. Projektören har skyldighet att meddela konstruktören hur elementen ska förskjutas.

- Elementen förskjuts i förhållande till sin referenslinje.
- Förskjutningen överförs inte till SAP2000.

Konstruktören rekommenderas att följa projektörens anvisningar om utförda förskjutningar i Tekla Structures. Önskas ett referensplan bör *Insertion Point* användas för att samma förskjutning ska uppnås i båda programmen.

- *Properties* och *Insertion Point* är varandras motsvarigheter i Tekla Structures och SAP2000.

Utför konstruktören förskjutningar i SAP2000 har han skyldighet att meddela projektören ändringar.

- Förskjutningar utförda i SAP2000 överförs inte till Tekla Structures.

5.3 Analys: Laster och lastkombinationer

5.3.1 Bakgrund

Laster och lastkombinationer kan tilldelas både i Tekla Structures och SAP2000. Traditionellt sätt är det konstruktörens uppgift att tilldela laster till modellen där SAP2000 är det naturliga valet av program. Även Tekla Structures har utvecklat programfunktioner för att behandla laster lastkombinationer. Enligt manualen till Tekla Structures ska det vara möjligt att ange beräkningskod samt definiera laster, lastfall och generera lastkombinationer (Tekla Corporation, 2010).

5.3.2 Syfte

Syftet med analysen var att undersöka hur laster och lastkombinationer tilldelas i programmen, vilka beräkningskoder som finns tillgängliga samt i vilken grad analys och dimensionering kan utföras i Tekla Structures. Det var även av intresse att undersöka om beräkningsresultat såsom deformationer, spänningar och moment kan överföras mellan programmen.

Intressanta hållpunkter Start i Tekla Structures var:

- Hur definieras dimensioneringsvillkor i Tekla Structures?
- Hur tolkar SAP2000 dimensioneringsvillkor definierade i Tekla Structures?
- Överförs förändringar av dimensioneringsvillkor i SAP2000 till Tekla Structures?

5.3.3 Förutsättningar

Laster som behandlades var egenvikt samt vertikal variabel utbredd last på långbalkar enligt kap 3.4.4. Konstruktionen analyserades i brottgränstillstånd med Eurocode 3 för Sverige.

Laster och lastkombinationer i analysen utfördes endast utifrån Tekla Structures då genomförandet för definiering av laster och lastkombinationer i SAP2000 utförts i tidigare analyser. För genomförande för analys av laster och lastdefinitioner hänvisas till handboken *Analys: Programlänk – Export*.

5.3.4 Genomförande – Start i Tekla Structures

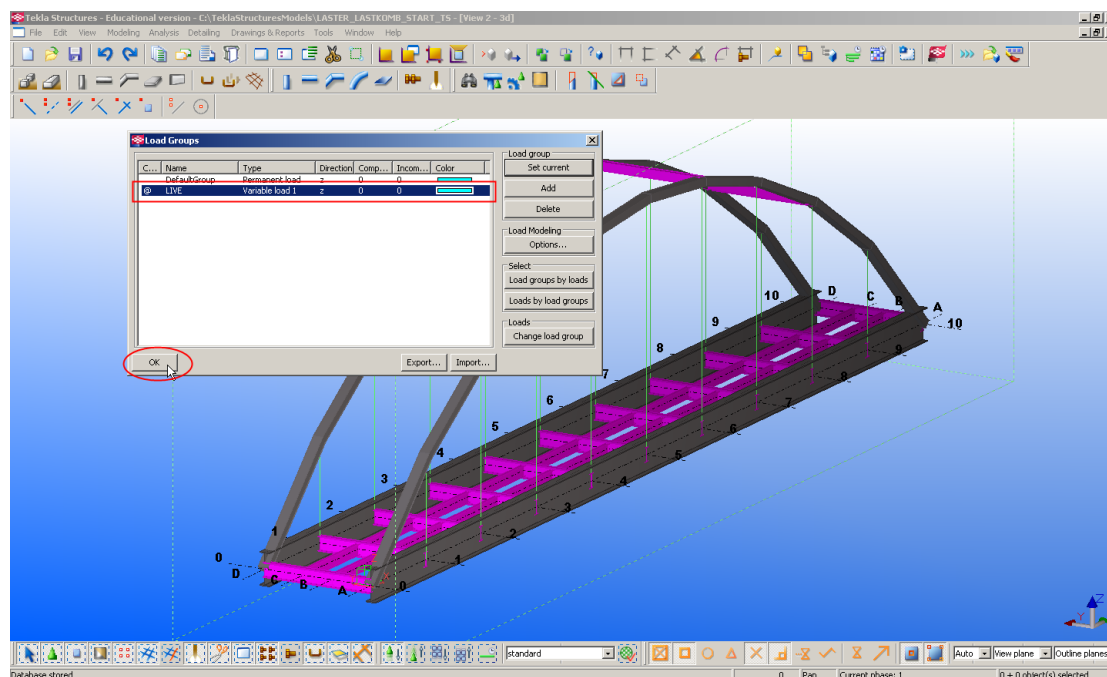
För detaljerat genomförande för Start i Tekla Structures se Bilaga I.

I Tekla Structures tilldelades laster på tvär- och långbalkar. I inställningarna för beräkningskod angavs Eurocode 3, beräkningsunderlag 2005. Möjligheten att skapa lastkombinationer undersöktes. En analysmodell skapades som exporterades till SAP2000. I SAP2000 undersöktes i vilken grad laster och lastkombinationer överfördes i exporteringsprocessen samt möjligheter till att justera angivna laster. Modellen analyserades och dimensionerades i SAP2000 och resultatet hämtades till

Tekla Structures. Modellen uppdaterades i Tekla Structures med nya dimensioner och justeringar gjorda i SAP2000 kontrollerades.

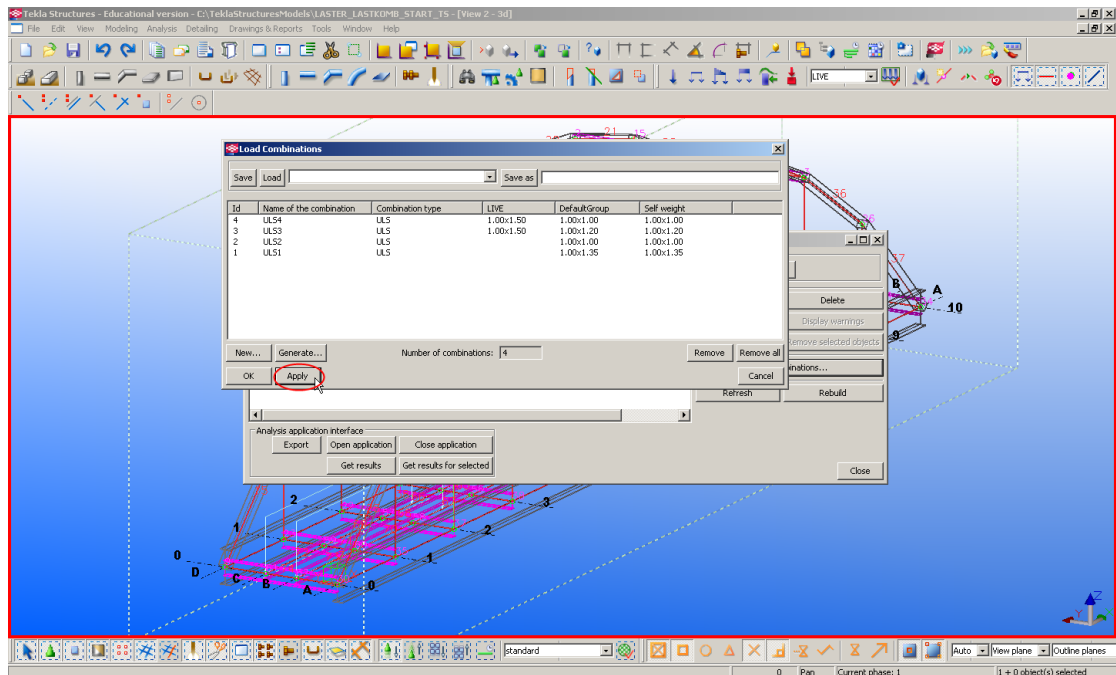
5.3.5 Resultat

Laster gick att tilldela i Tekla Structures, det fanns flera olika lasttyper att välja emellan och de kunde definieras och placeras på flera olika sätt. Till lasterna gick det att definiera lastfall, ett lastfall för egenvikt skapades automatiskt. Det fanns även flera fördefinierade lastfall och möjlighet att skapa egna (Figur 41).



Figur 41: Lastfall definieras i Tekla Structures. Lastfall för egenvikt skapades automatiskt.

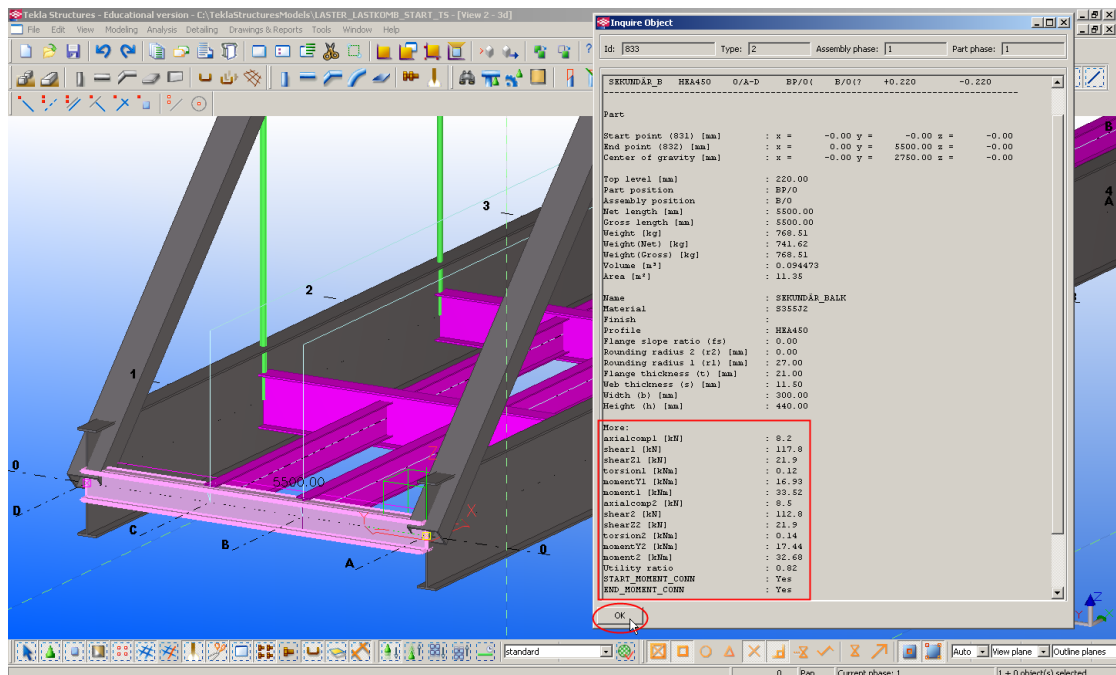
I Tekla Structures fanns flertalet beräkningskoder inlagda däribland Eurocode med svensk version som kunde väljas i *Options*. Lastkombinationer kunde automatiskt genereras till modellen utifrån beräkningskoden (Figur 42). Lastkombinationerna kunde bland annat skapas med hänsyn till brott- och brukgränstillstånd.



Figur 42: Lastkombinationer genererades i Tekla Structures

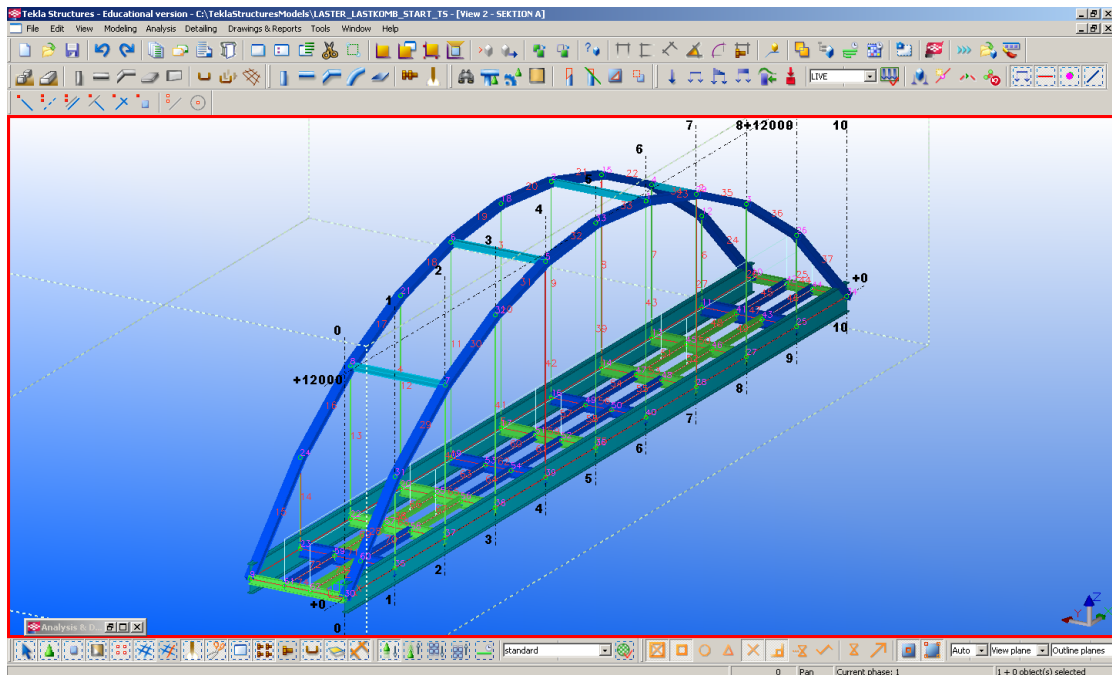
I exporteringsprocessen överfördes lastfall, laster och lastkombinationer i sin helhet. Beräkningskoden överfördes som Eurocode, men inte som den svenska versionen av Eurocode.

Beräkningsresultat för elementen överfördes ifrån SAP2000 till Tekla Structures. För varje element kunde bland annat moment, tvärkraft och utnyttjandegrad utläsas (Figur 43).



Figur 43: För grundmodellens element kunde beräkningsresultatet från SAP2000 utläsas i Tekla Structures.

Utnyttjandegrad av elementen kunde även visas grafiskt i Tekla Structures med färgkodning (Figur 44).



Figur 44: Utnyttjandegraden för elementen i modellen visades grafiskt i Tekla Structures.

Laster som definierades i Tekla Structures kunde förändras i SAP2000 men förändringen överfördes inte tillbaka till Tekla Structures.

Analys och dimensionering kunde inte utföras i Tekla Structures. Programmet är beroende av en annan programvara såsom SAP2000.

5.3.6 Analys och utvärdering

Det fanns likvärdiga möjligheter att tilldela enklare laster, lastfall, lastkombinationer och beräkningskod i Tekla Structures och SAP2000. Tilldelningen utfördes på liknande sätt och med samma upplägg och arbetsprocess.

Laster som tilldelades i Tekla Structures överfördes till SAP2000 och kunde justeras i programmet. Ändrade laster i SAP2000 överfördes dock inte till Tekla Structures. Likaså överfördes lastfall och lastkombinationer. Det fanns dock en risk för felaktiga beräkningsresultat då lastkombinationer genererades i Tekla Structures på grund av att SAP2000 automatiskt genererade nya. Det innebär att fler lastkombinationer genererades än vad som borde tas i beaktning. ”Automatisk generering av laster” i SAP2000 måste därmed stängas av innan en dimensionering påbörjas i SAP2000, och då lastkombinationer genereras i Tekla Structures.

Eftersom programmen hade liknande behandling, samt en fungerande överföring från Tekla Structures till SAP2000 av laster och lastkombinationer, fanns det möjligheter för att skapa en effektivare process. Det ansågs kunna skapas genom att den aktör som har möjlighet och kunskap kan tilldela aktuella laster. Exempelvis om projektören i ett

tidigt skede känner till aktuella laster så finns möjlighet att tilldela dessa för att avlasta konstruktörens arbete. Dock ansågs det kunna innebära en osäkrare process med ofullständiga handlingar.

En annan aspekt som beaktades var den att en modell som innehåller laster när den överlämnas ifrån projektör till konstruktör kan skapa förvirring och låg tillförlitlighet i processen. Det gäller att alla laster är korrekt tilldelade och bygger på rätt förutsättningar annars kan arbetet vara ogjort. En modell innehållande laster upplevdes därför vara i behov av att kompletteras med ett dokument som styrker tillförlitligheten på aktuella laster. Exempelvis, vid revideringar då ursprungliga lastförutsättningar uppdateras så justeras lasterna enkelt av projektören i Tekla Structures men kan skapa osäkerhet om inte konstruktören är medveten om detta. Ett dokument är svårare att justera än lasterna i modellen. Dessutom kan konstruktören enkelt kontrollera att lasterna i modellen stämmer överens med laster angivna i dokumentet. Ett kompletterande dokument kan därför anses mer tillförlitligt.

Efter uppdatering av tvärsnitt i Tekla Structures kunde beräkningsresultatet för varje element visas i Tekla Structures. Att resultatet kunde visas innebär viktigt information för projektören. Om exempelvis dimensionen på ett element behöver justeras kan projektören enkelt utföra en överslagsräkning för hur förändringen skulle påverka dimensioneringen.

För en kvalitetssäker analys och dimensionering gäller att all information definierad i Tekla Structures överförs korrekt till SAP2000. Även om tilldelning av laster och lastkombinationer utfördes, behandlades och tolkades på samma sätt i Tekla Structures som i SAP2000 upplevdes möjligheterna innebära en risk i tillförlitlighet. Risken grundade sig i att laster och lastkombinationer kunde påverkas från två håll och kunde därmed leda till minskad kontroll i arbetet. Eftersom beräkning idag sker i SAP2000 så borde alla beräkningsförutsättningar definieras i SAP2000. Då är all indata skapad i SAP2000 hos konstruktören och det innebär en minskad risk för feltolkningar av användare och program i en integrerad projektering.

5.3.7 Slutsats

Laster och lastkombinationer kan tilldelas på liknande sätt i båda programmen men bör endast behandlas i ett program. Behandling utifrån endast ett av programmen anses minimera risker för feltolkningar och missförstånd utav brukare och programvaror. Då SAP2000 är det program som har störst möjligheter till arbete med laster och lastkombinationer samt att konstruktören är den av rollerna som anses har störst kunskap om hanteringen rekommenderas att konstruktören, utifrån SAP2000, ansvarar för arbetsmomentet laster och lastkombinationer.

5.3.8 Rekommendation

Projektören rekommenderas att inte tilldela laster och lastkombinationer.

- SAP2000 har en avancerad beräkningsmotor och fler valmöjligheter vid definiering av laster och lastkombinationer.

Om konstruktören önskar assistans i arbetet kan projektören definiera laster och lastkombinationer. Konstruktören har vid ändringar skyldighet att meddela projektören.

- I SAP2000 utförda ändringar på laster överförs inte till Tekla Structures.

Konstruktören rekommenderas att ansvara för laster och lastkombinationer utefter förutsättningar i projektet och projektörens önskemål.

- Konstruktören har bredare kunskap om beräkning och tillämpning av datorverktyg för avancerad beräkning.
- SAP2000 har en avancerad beräkningsmotor och fler valmöjligheter vid definiering av laster och lastkombinationer.

5.4 Analys: Definition av leder

5.4.1 Bakgrund

Med definition av leder avses hur elements ändrar är inspända och syftar till vilken rotation eller i vilka riktningar som elementens infästningar tillåts att röra sig i. En infästning har tre möjliga riktningar för rotation samt tre för transversell förskjutning. Möjligheten till rotation eller transversell förskjutning brukar beskrivas som antalet frihetsgrader som ett elements infästning kan ha. Vid definiering av leder väljs vilka riktningar ett elements infästningar tillåts röra sig i (Computers and Structures, 2011).

Vanligt förekommande definition av leder är inspänningsförhållandena som motsvarar fast eller ledat inspänning. Den fasta inspänningen är låst att såväl rotera som att transversellt förflyttas och har därför inga frihetsgrader. Den ledat infästa är låst mot transversell förflyttning men är fri att rotera. Hur många rotation- och translationsriktningar som är tillåtna varierar med dess tillämpning.

Leders inspänningsförhållanden har stor betydelse för hur element uppträder vid analys. Olika inspänningar ger olika analysresultat för ett och samma element. Att utföra analys och dimensionering med felaktiga inspänningsförhållanden därför resultera i att en konstruktion tilldelas fel dimensioner.

Vanligtvis är det konstruktören som har ansvaret för arbetsmomentet. Med den kompatibla lösningen finns nu möjlighet till att definiera leder finns såväl i Tekla Structures som i SAP2000. Det betyder att både projektör och konstruktör kan utföra definitionen. Med tanke på leders vikt för analys och dimensionering är det mycket viktigt att de hanteras korrekt i projekteringen.

5.4.2 Syfte

Analysen syftade till att undersöka om definierade leder överförs vid exportering mellan programmen och hur de redovisas vid i respektive program. Av intresse var även att undersöka om definition av leder kan samlas till den gemensamma modellen.

Intressanta hållpunkter för start i Tekla Structures var:

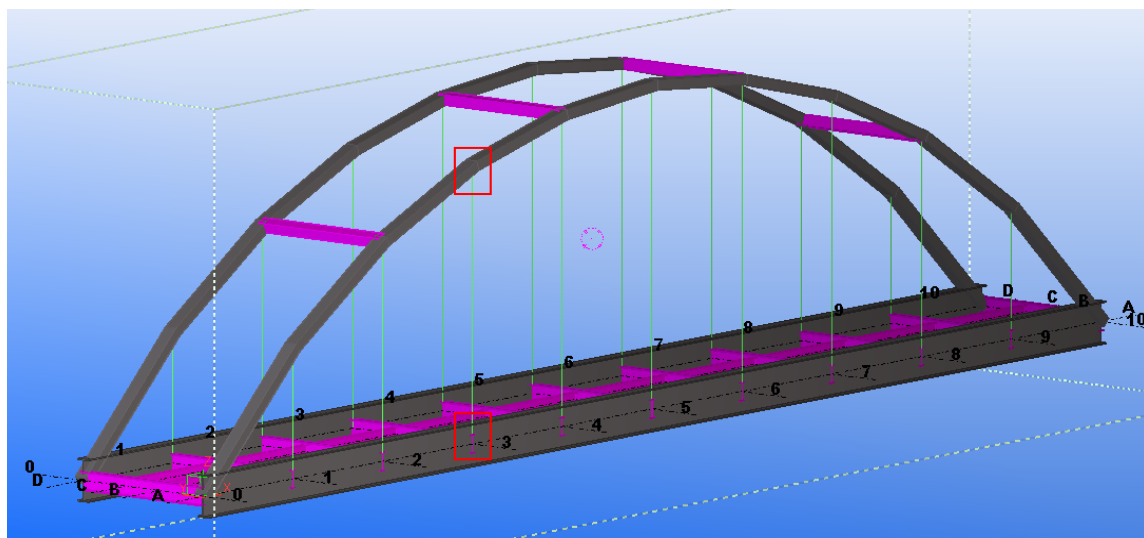
- Hur tolkas lederna i SAP2000?
- Om definition av leder överförs, behandlas de rätt vid analys och dimensionering i SAP2000?

Intressanta hållpunkter för start i SAP2000 var:

- Överförs definition av leder vid export till Tekla Structures? Anpassar sig modellens i Tekla Structures till ändrad definition av leder?

5.4.3 Förutsättningar

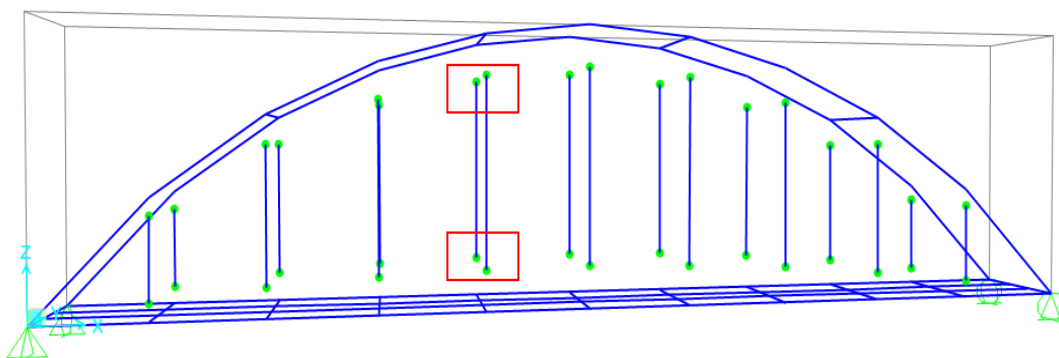
Definition av leder utfördes på hängstagens infästningar, vilka fäster mot bågbalk och huvudbalk. Hängstagens infästningar redovisas i Figur 45.



Figur 45: Analys för definition av leder utfördes på grundmodellens hängstag. De två rutorna markerar hängstagens infästningspunkter. Den övre redovisar infästning mot bågbalk och den undre infästning mot huvudbalk.

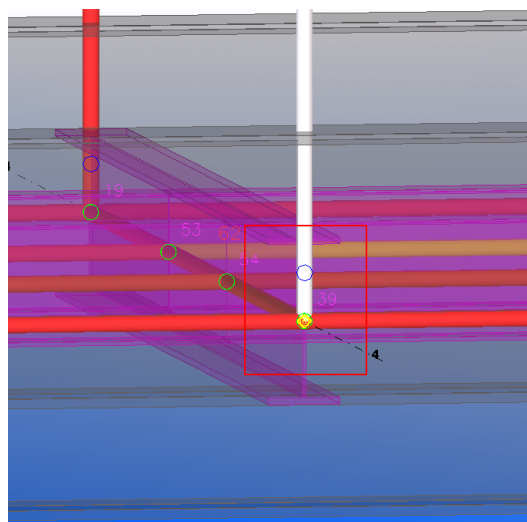
Som det beskrivits i 3.4 utgick grundmodellen från fast inspänning. I analysens genomförande utgick grundmodellen fortfarande från fast inspänning, men under analysens genomförande ändrades inspänningen till ledad inspänning. Ändringen utfördes både utifrån Tekla Structures och SAP2000.

Redovisning av fast respektive ledad infästning ser olika ut i respektive program. I såväl SAP2000 som Tekla Structures redovisas fast inspänning genom att system- och analysmodellens element är sammankopplade. Ledad infästning redovisas dock olika i respektive program. I SAP2000 redovisas det genom att elementen är avkortade till sin infästningspunkt och att elementens ändrar är försedda med rund markering (se Figur 46).



Figur 46: I SAP2000 redovisas ledad inspänningen genom att elementen är avkortade och försedda med en rund markering.

I Tekla Structures redovisas ledad infästning genom en extra ring som är något förskjuten till sin nod (se Figur 47).



Figur 47: I Tekla Structures redovisas ledad inspänning genom den ring som kan ses hängstagets infästning, det vill säga ovanför sin nod.

Utöver ovanstående sätt som visuellt redovisar ledad infästning finns kan även information om leders inspänningsförhållanden hittas i elementens egenskapsförteckningar.

5.4.4 Genomförande – Start i Tekla Structures

För detaljerat genomförande se Bilaga I.

Grundmodellen öppnades i Tekla Structures och hängstagets infästningar tilldelades ledad inspänning. Därefter skapades en analysmodell, vilken exporterades till SAP2000. I SAP2000 justerades inställningar för grafisk redovisning av leders definitioner. Analys och dimensionering utfördes enligt kapitel 3.4.8. Slutligen exporterades modellen till Tekla Structures.

Kontroll och granskning av modellen utfördes vid: import i SAP2000, under utförd analys och dimensionering i SAP2000 samt efter att modellen exporterats tillbaka till Tekla Structures.

5.4.5 Genomförande – Start i SAP2000

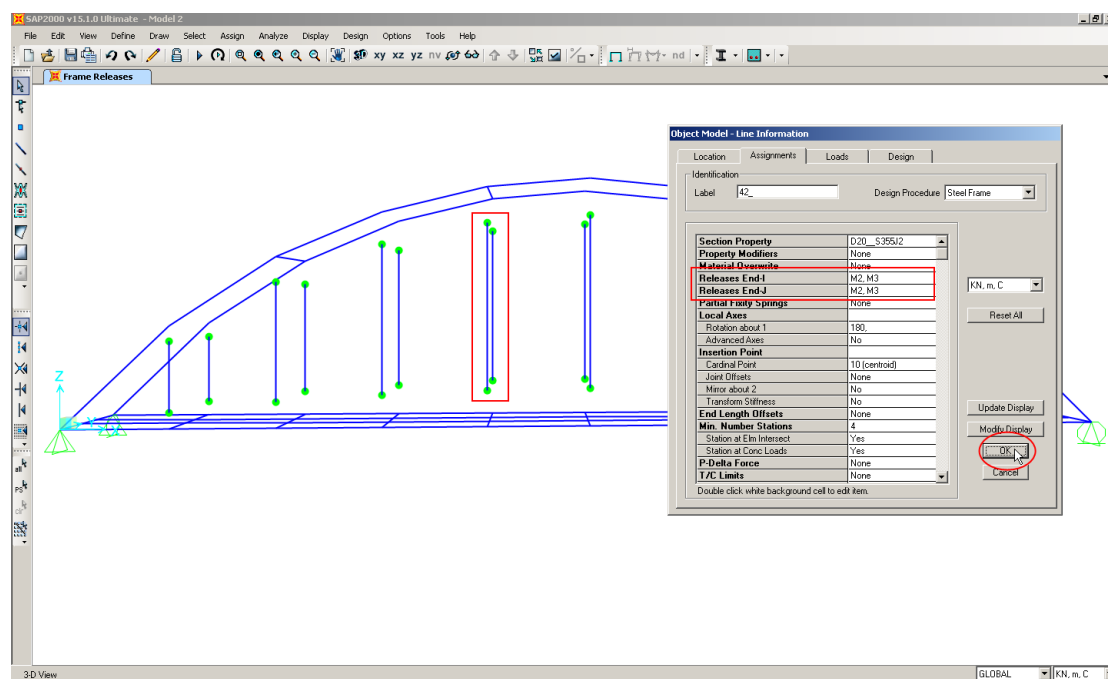
För detaljerat genomförande se Bilaga I.

Grundmodellen öppnas i Tekla Structures och en analysmodell skapades. Vid tilldelning av ledad inspänning redovisades inspänningen grafiskt i systemmodellen. Analysmodellen exporterades till SAP2000 och hängstagets definition av leder ändrades till ledad infästning. Analys och dimensionering utfördes enligt kap 3.4.8 och resultaten importerades tillbaka till Tekla Structures.

Kontroll och granskning av modellen utfördes vid import av dimensioneringsresultatet till Tekla Structures.

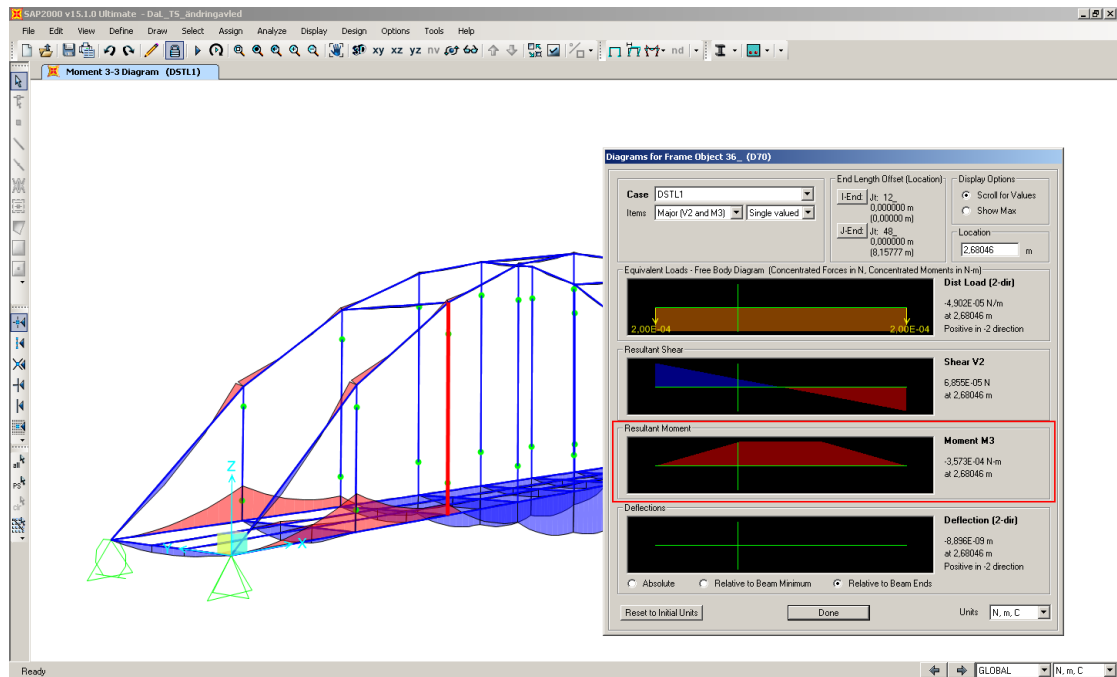
5.4.6 Resultat

Definierade leder överfördes vid exportering från Tekla Structures till SAP2000. Efter att inställning för grafisk redovisning av leders definitioner kunde hängstagens ledade inspänning redovisas i SAP2000. Även i hängstagens egenskapsförteckning kunde det utläsas att leders definition hade överförts (Se Figur 48).



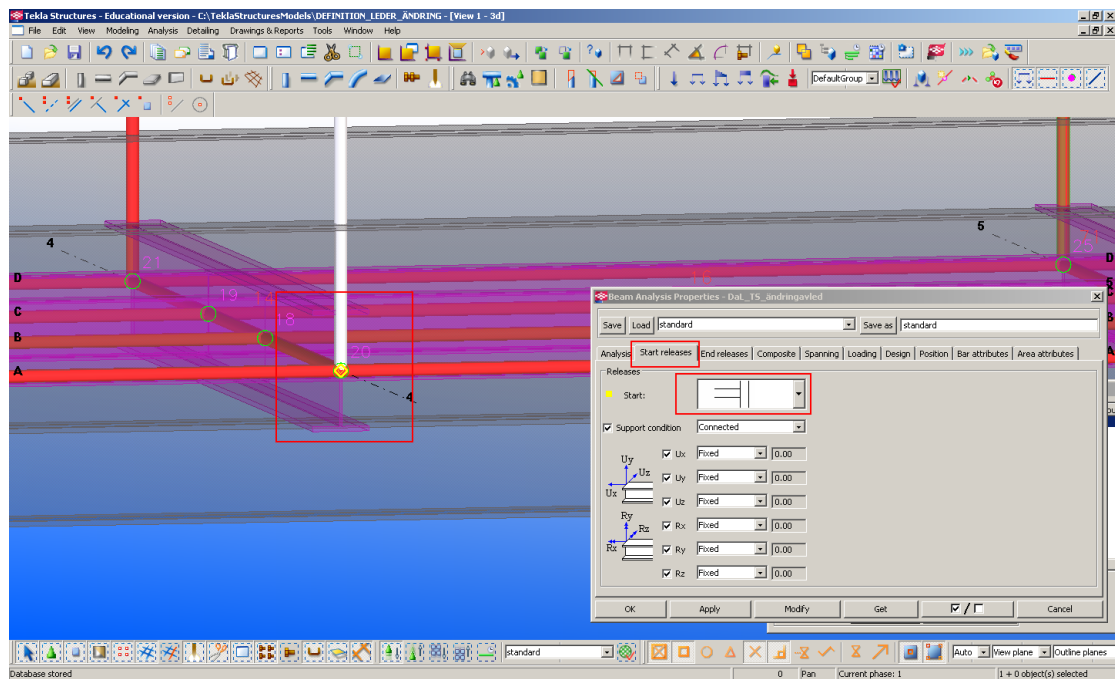
Figur 48: Redovisning av utfallet gällande hur ledad infästning överförs från Tekla Structures till SAP2000. Ledad infästning redovisades grafiskt genom att hängstagen är förkortade och försedda med en rund markering i respektive ände. Det gick även att utläsa i egenskapsförteckningen till höger.

Leder som definierats i Tekla Structures behandlades vid analys och dimensionering i SAP2000 korrekt. I fönstret för beräkningsresultat kunde det utläsas att inget moment uppstod i hängstagens inspänningspunkter (se Figur 49).



Figur 49: Figuren visar hängstagens beräkningsresultat. I rektangulär markering visas resultatet för momentfördelning. Av resultatet kunde det utläsas att hängstagen är utan ändmoment och motsvarade därmed ledad infästning.

Ändringar av hängstagens inspänningar som utfördes i SAP2000 överfördes inte vid export från SAP200 till Tekla Structures. Modellen i Tekla Structures hade kvar ursprungliga inställning om fast inspänning (se Figur 50). Den runda ringen för ledad infästning visades inte i analysmodellen och informationen i elementets egenskaper visade för fast inspänning. Resultatet innebar att modellen anpassar sig inte till ändringar genomförda i SAP2000.



Figur 50: Ändrad definition av leder utförd i SAP2000 överfördes inte till modellen i Tekla Structures. Som det kan utläsas i såväl vänster som höger box, saknas en rund markering för ledad inspänning respektive rätt information för elementets egenskaper.

5.4.7 Analys och utvärdering

Som presenterats i resultatet fanns vissa begränsningar i överföring av definierade leder. Information om leders definition överfördes från Tekla Structures till SAP2000, men inte från SAP2000 till Tekla Structures. Vid överföring av information om definition av leder från Tekla Structures till SAP2000 behövde inställningar för grafiskt redovisande av leders inställningar utföras i programmet. Med inställningen erhöll konstruktören en överskådlig bild av leder definition i SAP2000.

Definitionen av leder utförda i Tekla Structures behandlades korrekt vid analys och dimensionering i SAP2000. Att det behandlades rätt berodde på att hängstagens analysresultat inte redovisade något ändmoment och därmed fungerade definition av leder utförda i Tekla Structures korrekt.

Att leder inte kunde överföras från SAP2000 till Tekla Structures innebar att modellen inte kan användas till att samla information om leders definiering till modellen. För att modellen ska hållas uppdaterad med korrekt information om leders inställningar måste information manuellt förflyttas från SAP2000 till Tekla Structures.

Att definition av leder kunde överföras från Tekla Structures till SAP2000 öppnar för möjligheten att även projektören kan definiera leder. Då både projektör och konstruktör kan utföra arbetsmomentet är det dock viktigt att det behandlas konsekvent och att en av projektör och konstruktör ansvarar för momentet. Det finns också ett behov av att någon ansvarar för att respektive modell hålls uppdaterad med aktuella inställningar.

Då konstruktör anses utgöra den roll som har störst erfarenhet av inspänningsvillkorens betydelse för beräkningsresultat ansågs det mest kvalitetssäkert om konstruktör fortsätter att utföra definiering av leder.

Om projektören avlastar konstruktörens arbete och definierar leder i Tekla Structures överlämnas modellen till konstruktören färdig för behandling av analys och dimensionering. Det skapar dock ett inkonsekvent underlag för konstruktören att utgå från och konstruktören anses behöva sätta sig in i projektörens val om inspänningar innan analys och dimensionering genomförs.

För att konstruktören ska erhålla en modell med inställningar som inte skapar tveksamheter, bör projektören inte utföra definition av leder. Projektören bör dock förbereda konstruktörens arbete genom att tilldela modellens element fast inspänning innan den exporteras. Det här skapar ett utgångsläge för konstruktören som är tydligt och det möjliggör att konstruktör kan utföra en analys i SAP2000 utan att justera modellen.

Då inte information om leders inställningar inte överfördes från SAP2000 till Tekla Structures finns ett behov av en manuell överlämning från konstruktör till projektör. Det för att den gemensamma modellen ska vara uppdaterad med aktuella inställningar av leders inspänning. För att modellen ska uppdateras med aktuella inställningar bör projektören justera modellen i Tekla Structures. På så sätt skapas en modell som har uppdaterad information inför en ny exporteringsprocess.

5.4.8 Slutsats

Leder kan definieras utifrån såväl Tekla Structures som SAP2000. Leder kan dock inte överföras från SAP2000 till Tekla Structures. Det är viktigt att leders definiering hanteras konsekvent och utifrån ett av programmen. Då definition av leder är av störst betydelse för konstruktörens analys- och dimensioneringsarbete bör konstruktören utföra definieringen. Konstruktören behöver dock manuellt överlämna inställningarna till projektör så att den gemensamma modellen kan återfås i ett läge där de senaste inställningarna gäller och så att en ny exporteringsprocess kan inledas med rätt förutsättningar.

5.4.9 Rekommendation

Projektören rekommenderas att definiera fast inspänning för modellens alla element. Projektören bör ansvara för att uppdatera modellen i Tekla Structures utefter definition av leders som konstruktör utfört i SAP2000.

- Konstruktören har då ett tydligt och konsekvent utgångsläge inför analys och dimensionering.
- Konstruktören kan direkt utföra en analys för kontroll av modellens respons.

- Modellen är då förberedd att exporteras med aktuella förutsättningar inför konstruktörens fortsatta arbete med analys och dimensionering.

Konstruktören rekommenderas ansvara för definiering av leder inför analys och dimensionering. Konstruktören bör även överlämna informationen om leders inställningar till projektören.

- Konstruktören anses ha goda kunskaper om inspänningsvillkor för beräkning.
- Definierade leder i SAP2000 överförs inte vid export till Tekla Structures.

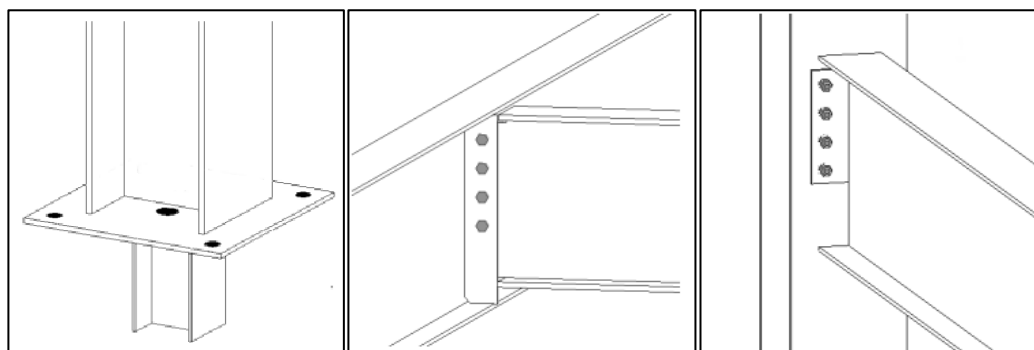
5.5 Analys: Systemkomponenter

5.5.1 Bakgrund

För att konstruktioner ska erhålla stabilitet behöver dess element sammanfogas med varandra. Sammanfogningen kan uppnås genom detaljer för förband, armering eller svetsning. Detaljer behandlas vanligtvis i projekteringsens senare skede, detaljprojekteringen, och är ett arbetsmoment som beaktas då konstruktionen element genomgått en noggrann analys. I och med en noggrann analys erhålls de lasteffekter som ligger till grund för dimensioneringen av detaljer.

För sammanfogning av stålkonstruktioner används främst svets- och bultförband. SAP2000 saknar stöd för analys och dimensionering av förband, men kan hanteras i Tekla Structures.

I Tekla Structures benämns svets, skruv- och bultförband som komponenter, vilka antingen kan vara förinställda (System Components) eller manuellt skapade (Custom Components). De komponenter som är förinställda kallas i sin tur för systemkomponenter. I Figur 51 visas tre exempel på systemkomponenter som finns tillgängliga i programmet, *Base Plate* (1047), *Shear Plate* (146) och *End Plate* (144).



Figur 51: Exempel på förinställda systemkomponenter i Tekla Structures. Från vänster *Base Plate* (1047), *Shear Plate* (146) och *End Plate* (144) (Tekla Corporation, 2012).

Som tidigare nämnts är projekteringsarbetet generellt sett inte en linjär process. Den omfattas i stor uträkning av ändringar och många gånger behöver processen gå fram och tillbaks innan den färdiga produkten uppnås. Ändringar uppstår såväl under system- som detaljprojektering. Oavsett när de sker ger de upphov till nya förutsättningar som ofta innebär nya tvärsnittsdimensioner. Med nya förutsättningar följer nya behov. Det finns ett behov av att både stämma av konstruktionens kapacitet mot gällande lasteffekter, och kontroll av att systemkomponenterna är modelleringstekniskt rätt.

I ett integrerat arbete med två programvaror som Tekla Structures och SAP2000, betyder ändringar ny analys och dimensionering i SAP2000. Då en konstruktion vid detaljprojektering nästan är färdig och är försedd med systemkomponenter är det intressant att veta att hur en exporteringsprocess mellan Tekla Structures och SAP2000 hanterar dem. Om ny analys och dimensionering innebär att tilldelade systemkomponenter ändras eller till och med försvinner är det viktigt att känna till

det. Nedlagt arbete kan förloras och komponenter kan antingen behöva tilldelas på nytt eller att manuellt behöva justeras för anpassning till nya tvärsnittsdimensioner. Det är även mycket viktigt att uppdaterade komponenter verifieras mot nya lasteffekter som uppkommer vid ändringar och nya analys och dimensionering.

5.5.2 Syfte

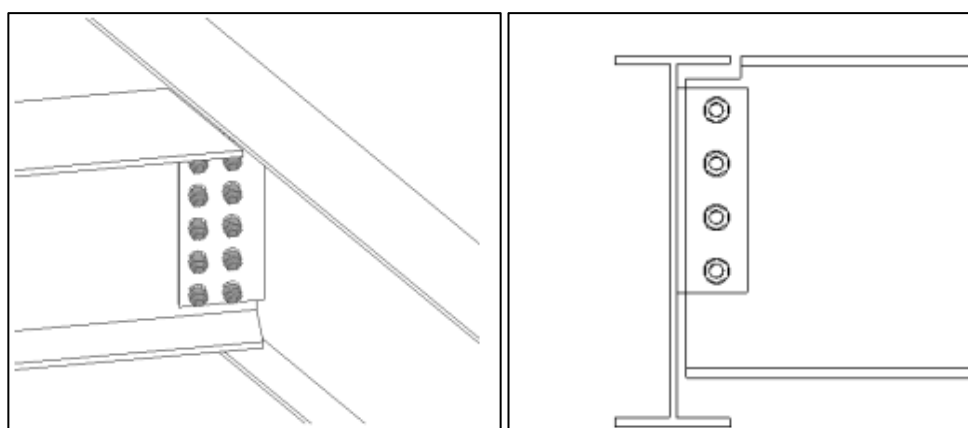
Analysen syftade till att undersöka hur Tekla Structures systemkomponenter påverkas av en analys och dimensionering i SAP2000. Av intresse var att utreda om systemkomponenter kan återfås till Tekla Structures efter analys och dimensionering i SAP2000 samt om de uppdateras automatiskt till ändrade tvärsnittsdimensioner. Det fanns även intresse av att ta reda på hur systemkomponenter tolkas i Tekla Structures analysmodell samt om systemkomponenter överförs vid export från Tekla Structures med till SAP2000.

Intressanta hållpunkter för start i Tekla Structures var:

- Hur tolkas systemkomponenter i analysmodellen?
- Hur behandlas systemkomponenter i SAP2000?
- Återfås modellen till Tekla Structures med systemkomponenter? Om de återfås, uppdateras systemkomponenterna till de nya tvärsnittsdimensionerna?

5.5.3 Förutsättningar

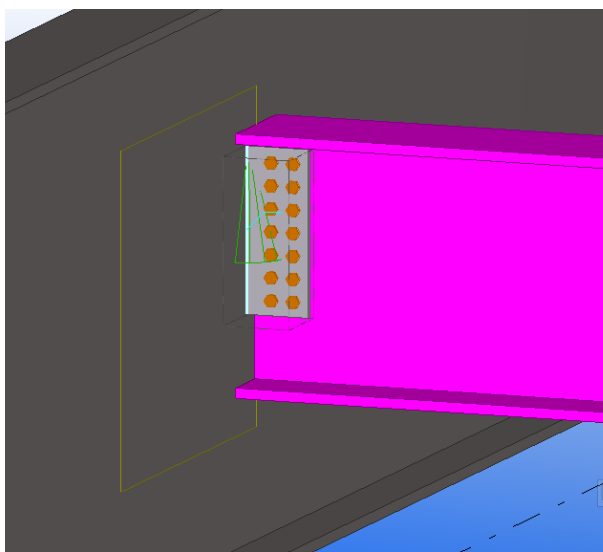
Systemkomponenter modellerades för sammankoppling av tvär- och huvudbalkar. I analysen användes systemkomponenten *Shear Plate Simple (146)* (se Figur 52). Komponentens sammankopplande plåt fästs till huvudbalkens liv genom svetsar och till tvärbalkens liv genom et antal bultförband.



Figur 52: Systemkomponenten *Shear Plate Simple (146)* från Tekla Structures.

Utgångsläget för analysen var enligt Figur 53. Systemkomponenten kopplade samman tvär- och huvudbalkar 7 bultpar. Vid analysen var intresset att skapa en tvärbalkens

dimensioner så att systemkomponenten tvingades till att förändras. Förändringen förväntades uppnås genom att styra dimensioneringen så att tvärbalkens ursprungliga profil på HEA700 antog den nya profilen HEA300.



Figur 53: Systemkomponenten *Shear Plate Simple (146)* används i analysen för sammankoppling av tvärbalk och huvudbalk.

5.5.4 Genomförande – Start i Tekla Structures

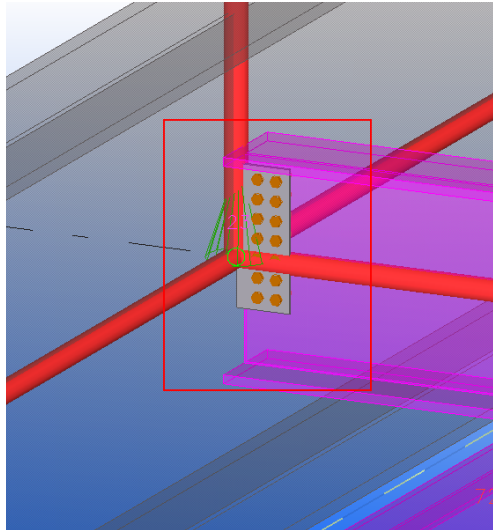
För detaljerat genomförande se Bilaga I.

Grundmodellen öppnades i Tekla Structures. Huvud- och tvärbalkar sammanfogades med systemkomponenten *Shear Plate Simple*. En analysmodell skapades och exporterades till SAP2000. Analys och dimensionering utfördes i SAP2000 och modellen exporterades slutligen tillbaka till Tekla Structures med ändrade tvärsnittsdimensioner.

Kontroll och granskning av modellen utfördes vid: skapandet av en analysmodell, efter import av modell till SAP2000 samt efter import av modell och dimensioneringsresultat till Tekla Structures.

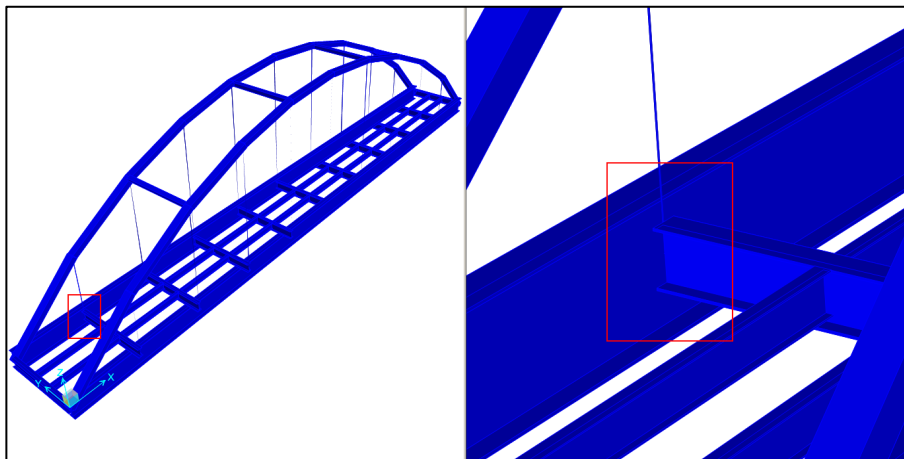
5.5.5 Resultat

För resultatet gällande hur systemkomponenter beaktas i Tekla Structures analysmodell gällde att komponenterna grafiskt redovisas i modellen. De översattes inte till analyslinjer (se Figur 54).

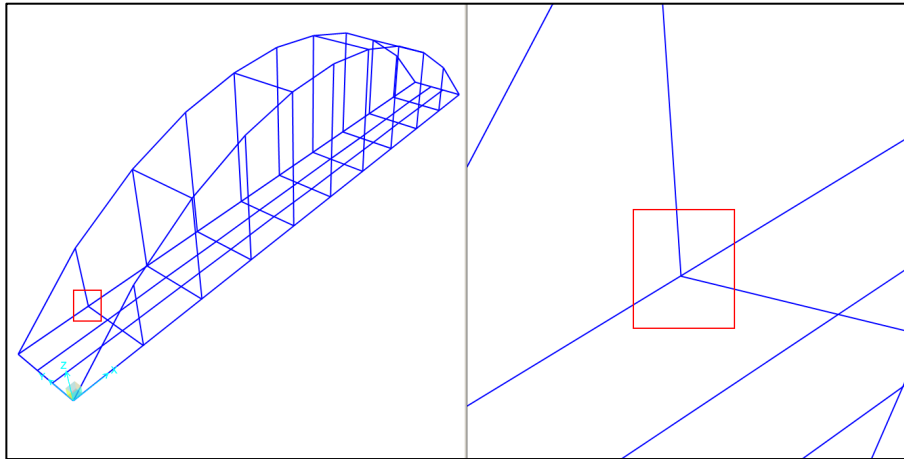


Figur 54: Systemkomponent översattes inte till analyslinjer vid skapandet av en analysmodell i Tekla Structures.

Vid exportering av analysmodellen till SAP2000 överfördes inte systemkomponenterna varken som analyslinjer eller som komponenter (se Figur 55 och Figur 56).

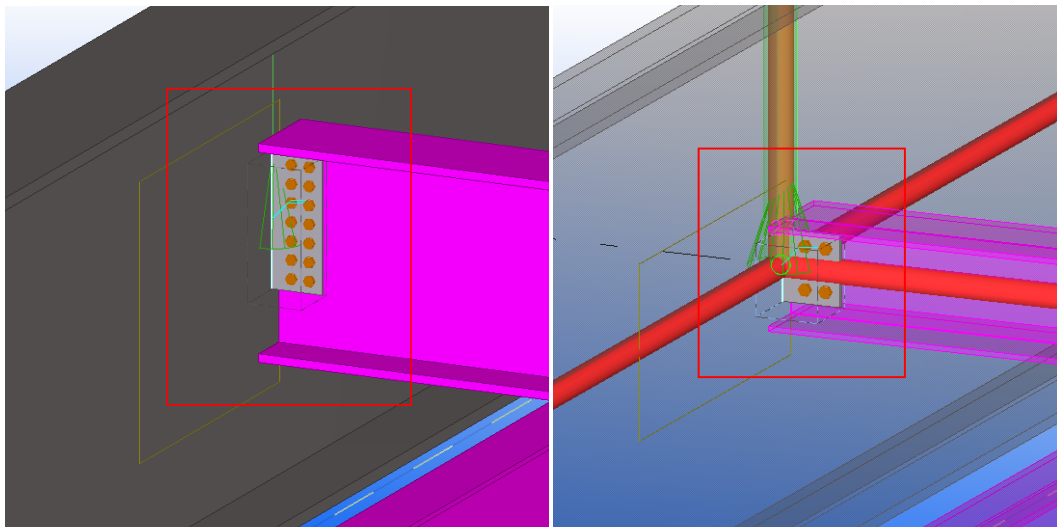


Figur 55: Systemkomponenten tilldelade i Tekla Structures överfördes inte till SAP2000 vid exportering av analysmodell från Tekla Structures.



Figur 56: Systemkomponenten tilldelade i Tekla Structures överfördes som analyslinjer vid exportering av analysmodell från Tekla Structures till SAP2000.

Vid importering av nya tvärsnittsdimensioner till Tekla Structures uppdaterades systemkomponenterna till nya tvärsnittsdimensioner. De uppdaterades automatiskt och anpassades till den nya profilen HEA300. I Figur 57 redovisas hur systemkomponenten uppdaterades. Komponentens sammankopplande plåt och antal bultpar minskades så att komponenten passade den nya dimensionen av tvärbalk.



Figur 57: Vid import av nya tvärsnittsdimensioner till Tekla Structures anpassades systemkomponenten *Shear Plate Simple* automatiskt till nya tvärsnittsdimensioner.

5.5.6 Analys och utvärdering

Att systemkomponenter bevarades vid exportering samt att de uppdaterades mot nya tvärsnittsdimensioner innebar att komponenterna varken behövde tilldelas på nytt eller justeras manuellt. Det var ett resultat som ansågs mycket användbart i det iterativa projekteringsarbetet då det innebar att analys och dimensionering kan tillämpas för en modell som redan är tilldelad systemkomponenter.

Systemkomponenterna behandlades inte i Tekla Structures analysmodell samt överfördes inte vid export till SAP2000. Resultatet innebar att konstruktören inte har möjligheten att se om, eller var, komponenterna är tilldelade. Det har dock en mindre betydelse för konstruktören eftersom SAP2000 inte hanterar analys och dimensionering av komponenter.

Att inte systemkomponenterna överfördes från Tekla Structures till SAP2000 innebar att modellen i SAP2000 blev mindre komplex och konstruktören fick en renare och mer överskådlig modell. Systemkomponenter påverkade därmed inte behandlingen av modellen vid analys och dimensionering i SAP2000, vilket kunde anses positivt för effektiviteten.

Systemkomponenter tilldelade i Tekla Structures påverkades inte av exporter till SAP2000. Efter dimensionering uppdaterades de automatiskt till nya tvärsnittsdimensioner. Resultatet innebar hög effektivitet då arbetet med systemkomponenter varken behöver utföras på nytt eller manuellt anpassas till nya tvärsnittsdimensioner. Att det gick att genomföra ny analys och dimensionering utan att systemkomponenter påverkas innebär effektivitet för arbetet i detaljprojekteringen.

Det fanns inte bara fördelar med att systemkomponenterna uppdaterades automatiskt. En nackdel med den automatiska uppdateringen var att den kan leda till förlorad kontroll för projektören då uppdatering av systemkomponenter kan ske utan projektörens vetskap. För att få kontroll på de automatiska uppdateringarna kan projektören utnyttja Tekla Structures funktion *Get Results*. På så sätt kan projektören veta vilka komponenter som ändrats vid nya tvärsnittsdimensioner.

En annan nackdel med den automatiska uppdateringen är att den minskar kontrollen över kopplingen mellan komponenters nya dimensioner och deras kapacitet. Det innebär att projektörens och konstruktörens arbete med systemkomponenter riskerar att inte stämma överens vid en ny analys och dimensionering i SAP2000. Exempelvis, en projektändring som innebär en ökad last leder till ändrade tvärsnittsdimensioner samt en ny, separat beräkning av systemkomponenters kapacitet. Den automatiska uppdateringen motsvaras inte av konstruktörens beräkningar vilket medför stora risker för att projektören går vidare i projekteringen utan verifierade komponenter. Därför bör systemkopplingar alltid noggrant kontrolleras mot beräkning efter dimensionering varje iterativ exporteringsprocess.

För kontroll av systemkomponenters kapacitet behövs ett nära samarbete mellan projektör och konstruktör för att erhålla kvalitetssäkerhet. De bör tillsammans gå igenom alla systemkomponenter varje gång en analys och dimensionering genomförs.

Konstruktören bör ansvara för kontroll av komponenters kapacitet och för att manuellt överlämna information till projektören angående ändringar. Projektören bör ansvara för att ändra de komponenter som inte uppfyller rätt kapacitet och så att de är modelleringstekniskt rätt.

5.5.7 Slutsats

Att systemkomponenter kan uppdateras mot nya tvärsnittsdimensioner är positivt för effektiviteten i den integrerade projekteringen. Det minskar behovet av manuell handpåläggning. Att tillämpa funktionen innebär dock vissa risker som är viktiga att vara uppmärksam på. De uppdaterade systemkomponenterna är endast uppdaterade så att de är modelleringstekniskt rätt. Systemkomponenters kapacitet måste verifieras av konstruktören innan arbetet kan gå vidare.

Det är viktigt att projektör och konstruktör utformar komponenter i ett nära samarbete. Projektören bör ansvara för att systemkomponenter är modelleringstekniskt rätt och konstruktören för att de är verifierade. Det är viktigt att konstruktören överlämnar information om systemkomponenters verifierade kapacitet till projektören och att projektören ändrar modellen i Tekla Structures efter konstruktörens dimensionering.

5.5.8 Rekommendation

Projektören rekommenderas att ansvara för att systemkomponenter är modelleringstekniskt rätt efter varje genomförd dimensionering genom att kontrollera vilka systemkomponenter som berörs av nya dimensioner. Projektören har en skyldighet i att ändra systemkomponenters utförande utefter konstruktörens dimensionering.

- Systemkomponenter överförs inte till SAP2000 och uppdateras automatiskt till nya tvärsnittsdimensioner.
- Automatisk uppdatering minskar kontrollen över vilka systemkomponenter som ändras.
- Ökad kontroll på automatisk uppdatering av systemkomponenter kan erhållas med funktionen *Get Results*.
- Uppdaterade systemkomponenter i Tekla Structures saknar koppling mellan kapacitet och ändrade tvärsnitt.

Konstruktör rekommenderas att verifiera alla systemkomponenters kapacitet efter varje genomförd dimensionering. Konstruktören har en skyldighet i att meddela projektören systemkomponenters kapacitet

- Konstruktören erhåller alltid en modell utan systemkomponenter.
- Systemkomponenter påverkas inte av dimensionering samt uppdateras automatiskt till nya tvärsnittsdimensioner i Tekla Structures.
- Uppdaterade systemkomponenter i Tekla Structures saknar koppling mellan kapacitet och ändrade tvärsnitt.

6 Diskussion

I kapitlet följer en diskussion som berör metodens lämplighet, informationsutbytet mellan Tekla Structures och SAP2000, utformade rekommendationers bidrag till effektiv och kvalitetssäker tillämpning samt vad en ökad kompatibilitet innebär för dagens projektering i konstruktionsbranschen.

För diskussion om rekommendationernas utformande hänvisas till läsning i fallstudiens analyser, se kapitel 4 och 5.

6.1 Metodutvärdering

Valet om att genomföra projektet med hjälp av en för- och en fallstudie har fungerat väl. Det upplevs ha varit en lämplig väg att gå för att generera underlag och resultat. Metoderna har bidragit med kunskap och förståelse för fallstudiens genomförande och för att möta definierad frågeställning.

I början av projektet fanns en förväntning på att inhämta information om konstruktionbranschens projektering genom litteraturstudien. Svårigheter i att hitta lämpligt underlag i litteratur medförde att samtal och intervjuer blev viktigare än planerat. Intervjuerna kompletterade litteraturen, dels med information om dagens sätt att projektera, men även om projektörens och konstruktörens arbetsituation vid projektering, där kompatibilitet mellan deras verktyg saknas. I efterhand upplevs en intervjustudie som en lämplig metod för projektets genomförande.

Utbildning i Tekla Structures hos Tekla Sverige och internutbildningen i SAP2000 gav tillräckligt med kunskap för att effektivt påbörja arbetet med programvarorna. Modelleringen av brokonstruktionen i Tekla Structures bidrog till ökad förståelse för programmets funktioner och till nödvändig kunskap inför fallstudien.

Fallstudien har bidragit med fördjupad insikt i projektörens och konstruktörens situation vid integrerat arbete med kompatibla lösningar. Fallstudien genererade resultat som tydligt visade kompatibilitetens möjligheter och begränsningar. Resultat ur fallstudie och förstudie gav en bra grund för utformningen av rekommendationerna. En nackdel med fallstudien var dock att det var svårt att täcka in alla moment som ingår i rollernas projekteringsarbete.

Inhämtade kunskaper och insikter ur för- och fallstudie användes som underlag till syftet om vad kompatibilitet och integrerad projektering kan betyda för dagens projektering i branschen. Metoden upplevdes som lämplig. Förstudien bidrog med kunskaper och förståelse om vad projektering och dess möjligheter innebär idag. Förstudien bidrog även med kunskaper om hur projektering förändras med utvecklingen av projektörens och konstruktörens verktyg. Fallstudien gav värdefulla insikter i projektörens och konstruktörens samspel vid projektering med kompatibla programvaror.

En svaghet i metoden för syftet om kompatibilitetens betydelse för branschens projektering var att fallstudien endast undersökte en specifik kompatibel lösning för integrerad projektering. En bredare bild av kompatibla lösningars betydelse för dagens projektering hade uppnåtts i en fallstudie med flera lösningar. Fallstudie med endast en lösning kan anses något smalt. Trots det anses erfarenheter och insikter från såväl förstudie och fallstudie kunna användas som underlag till en diskussion av mer generell karaktär.

6.2 Möjligheter och begränsningar – Tekla Structures och SAP2000

Resultatet ur för- och fallstudie visade att en kompatibel lösning, som Tekla Structures och SAP2000, öppnar upp för möjligheter att utbyta information mellan projektör och konstruktör i projekteringen. Den visade att kompatibilitet fanns för överföring av ett antal modelleringsaspekter och programfunktioner.

Resultatet visade dock att informationsutbytet inte var likvärdigt i båda riktningarna. Vid export från Tekla Structures till SAP2000 kunde mer information överföras än vid export från SAP2000. Exempel på aspekter som inte överfördes vid exportering från SAP2000 var modellerade avkortningar och förskjutningar.

Trots begränsningar i informationsutbytet bidrar en kompatibel lösning som Tekla Structures och SAP2000 till minskat behov av dubbelmodellering. Behovet av viss dubbelmodellering finns dock kvar. Ett arbetsmoment som innebar ny dubbelmodellering var modellering av förskjutningar. För att uppnå en förskjutning som var gynnsam för både projektör och konstruktör krävdes handpåläggning i båda programmen.

Den kompatibla lösningen visade även att den minskar det tidigare behovet av överlämningar med ritningar, skisser och samtal. Mer information kan sparas till modellen samt kan överlämnas med modellen. Begränsningarna i kompatibilitet, framför allt vid överföringar från SAP2000 till Tekla Structures, innebar dock att informationsutbytet fortfarande behövde kompletteras med manuella överlämningar.

En erfarenhet som gavs ur fallstudien var att ökad kompatibilitet inte endast bidrar till effektivitet och kvalitetssäkerhet. I analysen för systemkomponenter uppkom ett resultat som innebar risker för kvalitetssäkerheten: systemkomponenter ändrade dimensioner vid ändrade elements tvärsnittsdimensioner. Systemkomponenterna blev modelleringstekniskt rätt, men hade en förändrad och inte verifierad kapacitet.

6.3 Rekommendationernas användbarhet

Rekommendationer framtagna i fallstudien anses bidra med riktlinjer som undanröjer tveksamheter i integrerat arbete. Riktlinjerna behandlar tveksamheter vid studerade aspekter och styr upp tillämpning och ansvarsfördelning mellan aktörerna vid

gemensamma arbetsmoment. Rekommendationerna minskar även risker för felaktig modellering och tillämpning av programfunktioner. På så sätt bidrar de med effektivitet och kvalitetssäkerhet.

Trots att rekommendationerna anses bidra till en effektiv och kvalitetssäker integrerad projektering innehåller de begränsningar och har ett visst behov av komplettering. En begränsning är att rekommendationerna är specifika och endast berör programvarorna Tekla Structures och SAP2000. De är även specifika och framtagna för dagens gällande tillstånd för kompatibilitet. Utvecklingen kommer med stor sannolikhet att förändra kompatibiliteten mellan programmen. Med ändrad kompatibilitet gäller andra förutsättningar och rekommendationerna kan därför bli inaktuella.

Rekommendationerna har även en begränsning i att de inte påvisar hur kommunikation ska utföras vid överlämnandet av information. De behandlar kommunikation genom att belysa när det finns ett behov och vem av aktörerna som bör ansvara för överlämning. Rekommendationerna saknar därav riktlinjer för hur kommunikationen mellan projektör och konstruktör bör utföras.

Utöver behovet om kompletterande kommunikation vid överlämning av information finns ett behov av att komplettera arbetet med rutiner för signering. När både projektör och konstruktör kan genomföra ett och samma arbetsmoment uppstår ett behov av dokumentering av vem som utfört momentet.

Vidare har avgränsningar i studien medfört att rekommendationerna inte täcker alla arbetsmoment och funktioner som ingår i projekteringen och är möjligt att utföra med den kompatibla lösningen. Utveckling och komplettering av rekommendationer för fler arbetsmoment och programfunktioner behövs för att bredda rekommendationers tillämpning. För att komplettera rekommendationer med fler insikter om hur integrerad projektering kan utföras bör rekommendationerna betraktas som ett generiskt dokument. Vid utveckling av lösningars kompatibilitet kan rekommendationerna uppdateras för anpassning till aktuella förutsättningar.

Enligt projektets avgränsningar är rekommendationerna framtagna utifrån den specifika lösningen Tekla Structures och SAP2000. Trots det anses rekommendationerna utgöra möjligheter till att kunna tillämpas för integrerad projektering med andra kompatibla lösningar. I en integrerad projektering ställs projektör och konstruktör för liknande problematik om tillämpning och ansvarsfördelning oberoende av kompatibel lösning. Därför anses rekommendationerna kunna användas för att dra paralleller om ansvarsfördelning och tillämpning vid integrerad projektering med andra kompatibla lösningar.

Trots att rekommendationerna är framtagna utifrån en arbetssituation där rollerna projektör och konstruktör är fördelade på fler aktörer så anses de vara tillämpbara i en projekteringsform där projektör och konstruktör utgörs av samma aktör.

6.4 Ökad kompatibilitet och integrerad projektering

Utvecklingen av kompatibilitet och programvarors prestanda ger idag möjligheter till att använda kraftfulla och kompatibla verktyg i konstruktionbranschens projektering. Utvecklingen möjliggör projektering med 3D-modeller som kan utbytas mellan projektörens och konstruktörens program. Kompatibiliteten utgörs av gemensamma filformat och programlänkar och öppnar upp för nya förutsättningar för dagens projektering.

6.4.1 Integration, kommunikation och dokumentation

Kompatibla programvaror innebär att projektören och konstruktören kan använda en och samma 3D-modell genom arbetet i system- och detaljprojekteringen. Kompatibla programvaror innebär även att projektör och konstruktör kommer närmare i deras arbetsuppgifter. Med kompatibilitet har både projektör och konstruktör möjlighet till att påverka den gemensamma informationen och den tidigare åtskilda projekteringen övergår till en integrerad projektering.

I en integrerad projektering med kompatibla verktyg ställs projektör och konstruktör inför nya situationer. Kompatibiliteten innebär att arbetsmoment som tidigare haft tydlig rollfördelning minskar i tydlighet. Ett exempel från den kompatibla lösningen som Tekla Structures och SAP2000 utvecklats är att projektören kan utifrån Tekla Structures applicera laster, definiera lastkombinationer samt definiera inspänningsvillkor. Det här är arbetsuppgifter som tydligt varit fördelat till konstruktören i tidigare projekteringsformer.

Kompatibiliteten förändrar inte bara projektörens och konstruktörens situation genom att integrera deras arbetsuppgifter. Kompatibiliteten förändrar även sättet projektör och konstruktör kommunicerar. I den tidigare åtskilda projekteringsformen, där programvaror med begränsad kompatibilitet användes, kommunicerade projektör och konstruktör genom skisser, ritningar och samtal (Zeidi, 2012). Med kompatibilitet kan kommunikationen förläggas till modellen istället för att informationen ska flyttas externt mellan rollerna.

Det finns dock fortfarande ett behov av att utbyta information externt modellen. I det specifika fallet Tekla Structures och SAP2000 visades att olika information överfördes i olika exporteringsriktningar. Framförallt var informationsöverföringen från SAP2000 till Tekla Structures begränsad. Begränsningen innebar att kommunikationen mellan projektör och konstruktör behövde kompletteras med likande överlämningar som tidigare använts.

I en integrerad projektering kan mer information kopplas till modellen och flyttas mellan projektör och konstruktör. Det innebär andra sätt att kommunicera, men behovet av att kommunikation kvarstår. För att projektör, respektive konstruktör, ska känna till vad som tidigare har utförts och vad respektive aktör ska utföra behövs kompletterande handlingar för dokumentation och signering. Med dagens möjlighet

till att kommunicera genom modellen skulle det vara önskvärt att kunna genomföra överlämningar med modellen. Behovet skulle kunna mötas genom att det utvecklades funktioner för en digital loggbok kopplad till modellen. En digital loggbok kunde innehålla information om utfört arbete och signering av vem som utfört det.

6.4.2 Integrerad projektering – Iterativ och dynamisk

Resultatet ur såväl litteraturstudie som fallstudie visar att det idag går att projektera på ett sätt där projektören kan skapa en första modell i sitt modelleringsverktyg, där modellen sedan kan exporteras till konstruktören för analys- och dimensionering och för att slutligen återfå modellen med dimensionerade tvärsnittsdimensioner. Resultaten visar även att processen är möjlig att upprepa iterativt.

I tidigare tillämpning av 3D-modellerings- och beräkningsprogram fanns inte möjligheter till att tillämpa en projekteringsform som beskrivits i ovanstående stycke. I tidigare arbete har därför konstruktören utarbetat tekniska lösningar med sitt verktyg som projektören därefter modellerat efter. Begränsningarna har inneburit en statisk projekteringsform där stora arbetsinsatser krävs för att kunna utföra projekteringen på ett iterativt och dynamiskt sätt.

I en integrerad projektering med kompatibla programvaror, såsom Tekla Structures och SAP2000, visas det att information nu kan utbytas på ett sätt som öppnar upp för en mer dynamisk och iterativ projektering. Möjligheter till ett iterativt och dynamiskt arbete innebär att projektör och konstruktör kan ”bygga” en konstruktion tillsammans. Projektören kan modellera en första modell som iterativt behandlas med växelvis analys och dimensionering och modellering fram slutligt resultat. Möjligheterna innebär en arbetsform där projektören, tillsammans med konstruktören, kan modellera fram en teknisk lösning, istället för att tidigare modellera av en teknisk lösning.

6.4.3 Potentialer för projektering med kompatibla verktyg

En integrerad projektering med kompatibla verktyg ger möjligheter till att dynamiskt och iterativt modellera fram en teknisk lösning. Möjligheterna innebär potentialer till ökad flexibilitet i projekteringen och ökad kapacitet till att möta ändringar som uppstår.

I tidigare projektering har projektören varit låst till att invänta konstruktörens förslag på bärande system innan en modell upprättas. Konstruktören har därmed haft en nyckelroll och styrt projektörens tidiga arbete i dimensioneringsprocessen. Med kompatibla verktyg kan nu projektören upprätta en första modell utan dimensionerade element. Möjligheten finns nu att såväl projektör och konstruktör kan upprätta den första modellen vilket innebär flexibilitet i projekteringen.

Kompatibilitet mellan programvaror ger möjligheter till att exportera mellan projektör och konstruktör och därefter återfå modellen med nya tvärsnittsdimensioner. Uppstår ändringar i projektet kan ny exportering och dimensionering genomföras. Möjligheten

innebär att projekteringen är bättre rustad för att tackla ändringar som uppstår. Konstruktionsbranschen är därmed bättre rustad för att möta det iterativa arbetet i projekteringen med andra discipliner.

6.4.4 Avslutande reflektioner

Ökad kompatibilitet innebär nya förutsättningar för dagens sätt att projektera. Förutsättningarna innebär nya situationer för rollerna projektör och konstruktör. Rollerna kommer närmare varandra där de tillsammans kan ”bygga” modeller. Rollerna integreras och kan i större utsträckning än tidigare utföra arbetsuppgifter som varit tydligt fördelade till en av rollerna.

En fråga som har växt fram under projektets gång är hur kompatibilitetens möjligheter till ändrade projekteringsformer påverkar dagens sammansättning om projektör och konstruktör i projekteringen? Kommer nya projekteringsformer ändra projektörens och konstruktörens roller för att smältas samman till en och samma? Kommer rollernas olika kunskapsbakgrunder påverkas?

7 Slutsatser

I kapitlet presenteras slutsatser om metodval, informationsutbytet mellan Tekla Structures och SAP2000, rekommendationernas användbarhet samt slutsatser om kompatibilitetens innebörd för dagens projektering.

Slutsatser och rekommendationer ur fallstudiens analyser har även sammanställts och presenteras i kapitlet. Som avslutande del ges ett antal förslag på fortsatta studier för vidare undersökning och utveckling.

7.1 Valet av metod

Studien utfördes som en för- och fallstudie vilket anses som en lämplig metod för att generera underlag och resultat. Förstudiens litteraturstudie gav dock begränsat med information och innebar endast en introduktion till projektering inom konstruktionsbranschen. Samtal och intervjuer med aktörer i branschen bidrog däremot med fördjupad kunskap. För att på ett effektivt sätt inhämta information anses en fördjupad intervjustudie som en lämplig metod att tillämpa.

Fallstudien var värdefull i projektet och bidrog med fördjupade insikter om projektörens och konstruktörens samspel i en integrerad projektering med kompatibla verktyg. För att erhålla en bredare bild av kompatibilitetens betydelse och ge bättre grund för ett generellt resonemang om integrerad projektering, hade det varit önskvärt att utfört en fallstudie för fler av marknadens kompatibla lösningar.

En nackdel med fallstudien anses vara begränsningen till antalet arbetsmoment. Avgränsningarna innebar att rekommendationerna inte täcker alla arbetsmoment som ingår i projekteringsarbetet.

7.2 Den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000

Integrerad projektering med den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000 anses bidra med ökad effektivitet och kvalitetssäkerhet i projektörens och konstruktörens arbete trots att den uppvisar vissa brister. Effektiviteten ökar främst till följd av minskat behov av dubbelmodellering samt av möjligheter för projektör och konstruktör att utbyta information genom modellen. Ökad kvalitetssäkerhet uppnås av att det tidigare informationsutbytet med skisser och samtal minskar till följd av möjligheten att utbyta information genom modellen. Det kvarstår dock ett visst behov av manuella överlämningar med skisser eller samtal då lösningen inte kan överföra likvärdig information i båda exporteringsriktningarna.

Fallstudien visar att vissa risker finns vid projektering med den kompatibla lösningen. Kompatibiliteten bidrar med automation i processen, vilket är positivt. Utan kunskap

om tillämpning och förståelse för lösningens möjligheter kan automationen leda till risker och brister i projekteringen.

7.3 Rekommendationernas användbarhet

Rekommendationerna är framtagna utifrån en specifik projekteringsform där projektör och konstruktör utgör två olika aktörer med verktygen Tekla Structures och SAP2000. Trots det anses rekommendationerna för den specifika lösningen kunna användas för att dra paralleller för integrerad projektering med andra kompatibla lösningar. Rekommendationerna kan även direkt tillämpas på en projekteringsform med en aktör med samma verktyg.

Avgränsningar och kompatibilitetens utveckling innebär att rekommendationerna har ett behov av uppdateras och kompletteras för att kunna anses aktuella och breda nog för att täcka alla arbetsmoment som ingår i projektering. Därför bör rekommendationerna anses som ett generiskt dokument som tillämparen aktivt utvecklar.

7.4 Ökad kompatibilitet förändrar konstruktionbranschens projektering

Ökad kompatibilitet innebär nya förutsättningar för dagens sätt att projektera. Verktyg med kompatibla lösningar innebär att projektörens och konstruktörens arbetsuppgifter integreras och den tidigare åtskilda projekteringen övergår till en integrerad projektering.

Med ökad kompatibilitet förändras rollernas samspel och tidigare sätt att kommunicera. Mer information kan idag överlämnas genom modellen. Exemplet Tekla Structures och SAP2000 visar på att bristande kompatibilitet och informationsöverföringar innebär ett kvarstående behov av manuella överlämningar.

När projektör och konstruktör kommer närmare varandra finns ett ökat behov av att kunna dokumentera och signera respektive aktörs arbete. För effektiv och kvalitetssäker dokumentering, signering och informationsöverföring skulle en loggbok till modellen varit önskvärt att tillämpa.

Kompatibla lösningar innebär att 3D-modeller kan utbytas mellan projektören och konstruktörens verktyg. Projektering kan idag tillämpa kompatibla lösningar för att utföra en iterativ och dynamisk projektering. Tillsammans kan nu projektören och konstruktören virtuellt ”bygga” en konstruktion genom en process med växelvis utförd modellering och dimensionering. Ökad kompatibilitet innebär att idag finns möjligheter till att modellera fram en teknisk lösning istället för att som tidigare modellera av en teknisk lösning.

Ökad integration av projektörens och konstruktörens arbetsuppgifter innebär att tidigare åtskilda arbetsuppgifter kan genomföras gemensamt. Den tidigare gränsdragningen mellan projektören och konstruktörens arbetsuppgifter blir mindre tydlig. Förändringen beror på ökad kompatibilitet som kompatibla lösningar uppvisar.

7.5 Rekommendationer för exportering

I följande avsnitt redovisas en sammanställning av de slutsatser och rekommendationer som erhöles ur analyserna i fallstudiens första del. Slutsatserna svarar på frågan om hur information kan överföras mellan Tekla Structures och SAP2000 och hur informationsöverföringen bör hanteras för effektiv och kvalitetssäker tillämpning.

- Exportering och importering av 3D-modeller mellan Tekla Structures och SAP2000 kan utföras med programlänk och manuell export med kompatibla filformat. Programlänken integrerar programmen ifrån Tekla Structures gränssnitt. SAP2000 öppnas automatiskt vid export av analysmodell ifrån Tekla Structures. Resultatet ifrån analys och dimensionering i SAP2000 hämtas till Tekla Structures. En lista redovisar rekommenderade ändringar av tvärsnittsdimensioner. Modellen i Tekla Structures kan uppdateras automatiskt med nya dimensioner. Programlänken kräver att programmen är installerade på samma dator. Manuell export kan tillämpas på datorer som inte har tillgång till både Tekla Structures och SAP2000. 3D-modellen i Tekla Structures exporteras med filformatet IFC som kan importeras till SAP2000. I SAP2000 exporteras modellen som en CIS/2-fil. Efter dimensionering importeras CIS/2-filen till Tekla Structures och modellen kan uppdateras med nya dimensioner.
- Programlänkens funktioner *Export* och *Open Application* rekommenderas framför tillämpning av *manuell export*. Funktionerna anses bidra med effektivitet och kvalitetssäkerhet vid system- och detaljprojektering i en integrerad projektering.
- Manuell export rekommenderas att inte användas för en effektiv och kvalitetssäker integrerad projektering. Brister i informationsöverförandet innebär risker för fel i projekteringen.

7.6 Rekommendationer för integrerad projektering

I följande avsnitt visas en sammanställning av de slutsatser och rekommendationer som erhöles ur analyserna i fallstudiens andra del. Slutsatserna svarar på hur den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000 bör tillämpas för att en effektiv och kvalitetssäker integrerad projektering. Rekommendationerna gäller för tillämpning en av programlänkens funktion *Export*.

- Avkortningar bör utföras av projektören i sent skede av projekteringen med valfritt verktyg i Tekla Structures. Avkortningar överför inte till SAP2000 och

uppdateras inte till nya tvärsnittsdimensioner i Tekla Structures. Projektören bör ansvara för manuell uppdatering mot nya tvärsnittsdimensioner. Konstruktören kan avkorta med valfritt verktyg då det anses befogat.

- Förskjutningar av element bör utföras av projektören med eller utan styva länkar. Förskjutningar utförda med styva länkar överförs till SAP2000. Utförs förskjutning utan styva länkar ansvarar projektören för manuell överlämning till konstruktören. Konstruktören har ansvaret att kontrollera förskjutningar före analys och dimensionering. Utför konstruktören förändringar eller nya förskjutningar måste de meddelas till projektören.
- Laster och lastkombinationer definierade i Tekla Structures överförs till SAP2000. Laster och lastkombinationer är i direkt relation till analys och dimensionering och bör definieras av konstruktören i systemprojekteringen. Konstruktören ansvarar för att definiera laster och lastkombinationer med korrekt utförande i SAP2000.
- Projektören bör applicera fast inspänning för leder i Tekla Structures. Konstruktören ansvarar för att låsa upp leder i SAP2000 före analys och dimensionering. Förändringar utförda i SAP2000 bör av konstruktören överlämnas till projektören för uppdatering av modell i Tekla Structures så att modellen är förberedd för ny exportering.
- Systemkomponenter bör av projektör tilldelas vid detaljprojekteringen i Tekla Structures. Systemkomponenter överförs inte till SAP2000 men uppdateras automatiskt mot nya tvärsnittsdimensioner i Tekla Structures. Projektör och konstruktör har gemensamt ansvar för att systemkomponenter är korrekta och uppnår tillräcklig kapacitet. Projektören har ansvaret för att modellerade av systemkomponenter i Tekla Structures motsvarar konstruktörens beräkningar.

7.7 Fortsatta studier

I följande stycke ges förslag på fortsatta studier som kan innebära en breddning av projektets utformade rekommendationer samt en fördjupning i en integrerad projektering.

Avgränsningar och intressanta insikter under projektets gång öppnar upp för fortsatta studier där den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000 undersöks utifrån fler material, geometrier och modelleringstekniker. Förslag på material är betong samt konstruktioner innehållande både stål och betong. Förslag på fler geometrier är asymmetriska tvärsnitt, skalelement och bågar. Modelleringstekniker som kan vara intressanta att undersöka är exempelvis komponenter i form av *Custom Components*.

Fallstudiens andra del har endast undersökt modelleringsaspekter och programfunktioner utifrån programlänkens funktion *Export*. Förslagsvis bör även tekniker och funktioner undersökas utifrån exportering med programlänkens funktion *Open Application* och utifrån manuell exportering.

Den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000 har undersökts utifrån en relativt enkel modell. Det är därför intressant att undersöka hur den behandlar export och import av större och mer komplexa modeller.

Fallstudien beaktade främst grundmodellens sammansättning under exportering. Fokus låg inte på exakta beräkningsresultat. Det vore intressant att utreda den kompatibla lösningen utifrån ett fokus på exakta beräkningsresultat.

Projektet avgränsades från att beakta hur kommunikationen mellan projektör och konstruktör bör tillämpas vid integrerad projektering. Förslagsvis bör riktlinjer för kommunikationsmedel och deras tillämpning utarbetas.

Under projektet uppkom en insikt om ett behov av riktlinjer för hantering av filer, mappar och mappstruktur vid projektering med den kompatibla lösningen Tekla Structures och SAP2000. Förslagsvis bör även riktlinjer för hantering av filer, mappar och mappstruktur utformas för den integrerade projekteringen med kompatibla verktyg.

Det finns flertalet kompatibla lösningar mellan 3D-modellerings och beräkningsprogram. Studien behandlar endast Tekla Structures och SAP2000. Det vore därför intressant att undersöka andra kompatibla lösningar mellan andra programvaror. Det skulle ge en bredare bild om vad kompatibilitet kan innebära för projektering i konstruktionsbranschen i stort.

8 Referenser

- Computers and Structures, I. (2011). *CSI Analysis Reference Manual: For SAP2000, ETABS, SAFE and CSiBridge* (6:e upplagan uppl.). Berkeley, Californien, USA.
- Computers and Structures, Inc. (den 17 05 2012). *CSI: Computers and Structures, Inc., Structural and Earthquake Engineering Software*. Hämtat från <http://www.csiberkeley.com> den 17 05 2012
- Engström, B. (2007). *Beräkning av betongkonstruktioner*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Hanson, B., Olander, S., & Christiansson, H. (2009). *Begrepp i bygg- och fastighetssektorn*. Lund, Sverige: Svensk byggtjänst.
- Nordstrand, U., & Révai, E. (2002). *Byggstyrning* (3:e upplagan uppl.). Stockholm, Sverige: Liber AB.
- Tarandi, V. (2003). *Byggandets informationsteknologi: Så används och utvecklas IT i byggandet*. Uppsala, Sverige: AB Svensk byggtjänst.
- Tekla Corporation. (den 17 05 2012). Hämtat från <http://www.tekla.com/se> den 17 05 2012
- Tekla Corporation. (2010). *Tekla Structures: Analysis Guide* (Produktversion 17.0 uppl.). Tekla Corporation.
- Zeidi, K. (2012-21-02). Reinertsen Sverige AB. Göteborg, Sverige.
- Wikforss, Ö. (2003). *Byggandets informationsteknologi: Så används och utvecklas IT i byggandet*. Uppsala, Sverige: AB Svensk byggtjänst.