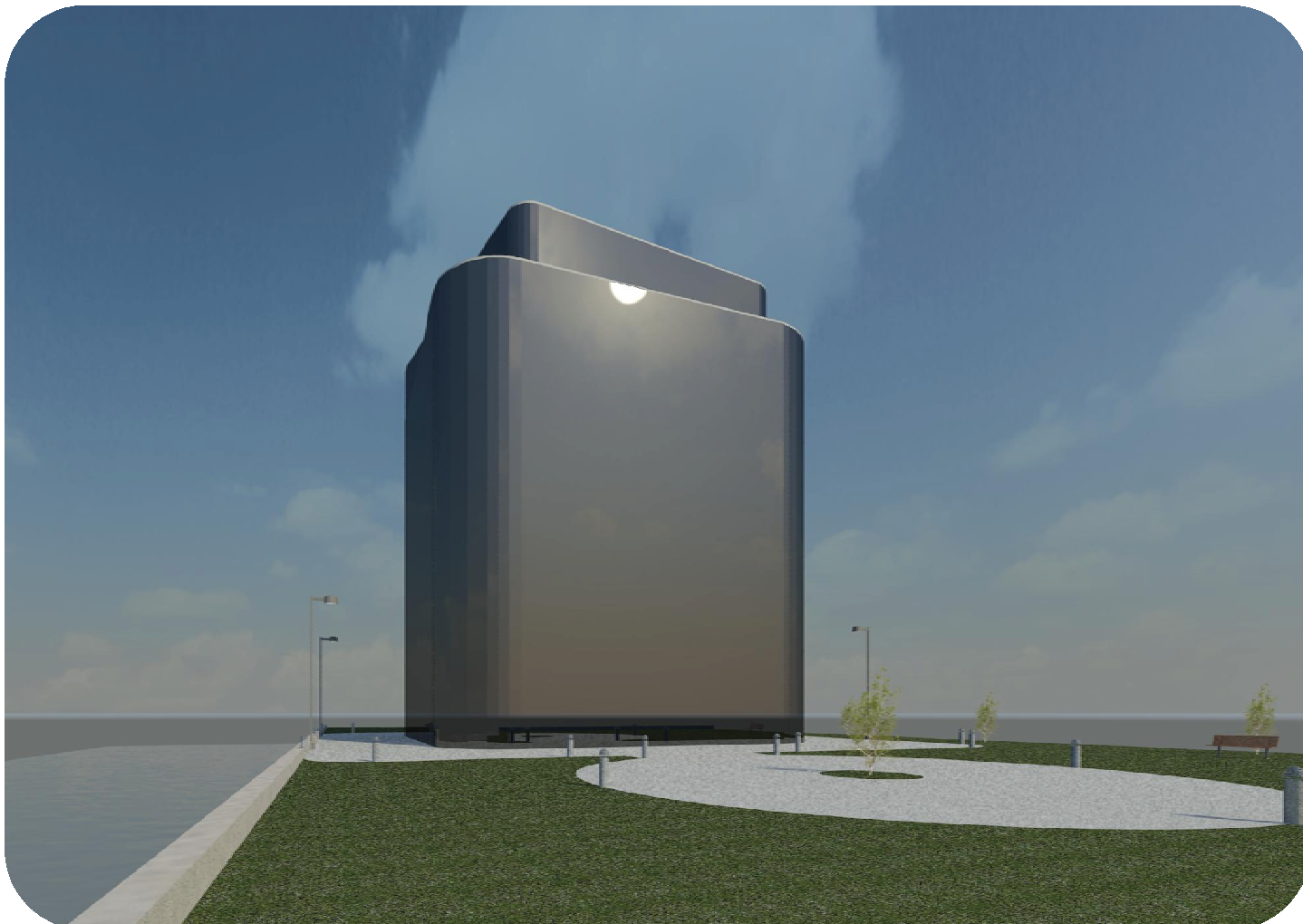




Integreret brug af BIM- og EDB værktøjer i projekteringsfasen

Kandidatspeciale 2009-2010

Forfattere

Thyge pilgaard s040289

Jonathan Glud s040311

Vejledere

1. Hovedvejleder på BIM del: Jan Karlshøj

2. Medvejleder på konstruktionsdel: Finn Larsen

Projektets udførelsessted

Department of Civil Engineering (BYG.DTU)

Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Building 118

DK-2800 Kgs. Lyngby

www.byg.dtu.dk

phone (+45) 45 25 17 00

Fax (+45) 45 88 32 82

E-mail byg@byg.dtu.dk

Samarbejdspartner

Ramboll Denmark A/S

Teknikerbyen 31

DK-2830 Virum

phone (+45) 45 98 60 00

E-mail ramboll@ramboll.dk

Thyge Pilgaard s040289

Jonathan Glud s040311

Summary

The purpose of this candidate assignment was to demonstrate and evaluate the benefits of integrating BIM and EDB related tools in the design phase. In the traditional design phase BIM models are typically used just for the achievement of engineering drawings from the 3D model, but it was within this group's perception, that the BIM model offered a wide range of opportunities beside this factor. In this matter an analysis of two BIM related drawing programs Revit Structure and Tekla Structures was made to illustrate their abilities to communicate with the Finite Element program Autodesk Robot Structural Analysis. Thereafter a demonstration of the Program Revit Structure's ability to integrate parametric details in the 3D model and the following drawing generation of them was made. The same counted for the program's capability to generate quantity lists. At last a demonstration of Revit Structure's ability to connect with Revit Architecture was provided. All together these were presented to illustrate how the designing phase could be optimized in comparison to traditional execution. To make this illustration as realistic as possible a real life construction example, in terms of a high rise building in Copenhagen, was implemented and assigned the above mentioned BIM tools. Certain areas on the building in the fields of structural design was chosen out for further analysis and are accessible in the second part of the assignment.

Opgave fordeling

Følgende opgavefordeling har gjort sig gældende i projektets forløb:

Specifik opgave	Udført af
Delrapport 1	
Problemformulering og indledning	JG & TP
Det Digitale Byggeri	TP
Metodebeskrivelse	TP
BIM-programmer	TP
Analyse af linket overførsel mellem Revit og RSA	JG & TP
Analyse af linket overførsel mellem Tekla og RSA	JG
Delkonklusion af linket overførsel	JG
Anvendelsesbaseret brug af BIM på punkthuset	TP
Delrapport 2	
Beregningsforudsætninger	JG
Det bærende system	TP
Det afstivende system	JG
Beregninger i brud-/anvendelsesgrænsetilstand	JG & TP
Samlet konklusion	JG & TP
Opgave Bilag	
Gennemgang af Revit funktioner	TP
Gennemgang af Tekla-RSA overførselsfunktion	TP
Appendixbilag	
Bilag 1-2	JG & TP
Bilag 2a,3 og 4	JG
Bilag 5	TP
Bilag 6-7	JG
Bilag 8	TP
Bilag 9-10	JG
Bilag 11,12 og 13	JG & TP
BIM-modeller	
Revit Structure model	JG
Revit Architecture model	JG

Ved fordelingen af det interne arbejde i projektet skal det nævnes, at vi begge har været med inde over hinandens emner gennem forløbet, hvilket gør os fortrolige med alle dele i den samlede rapport.

Anerkendelser

Igennem projektet har vi fået hjælp fra følgende personer, som vi gerne vil have lov til at takke.

Jan Karlshøj hovedvejleder på BIM-delen:

Tak for information vedrørende BIM, praktisk udførelse af rapport og sidst men ikke mindst hyggelige samtaler om BIM generelt og hvad vi ellers kunne komme ind på.

Finn Larsen medvejleder på konstruktionsdelen:

Tak for hjælpen med de statiske beregninger og det utal af spørgsmål vi har måtte stille. Din rolige og omhyggelige måde at forklare tingene på har givet os en bedre forståelse af diverse ingeniørmæssige dimensioneringsproblemer.

Jan Karolini it-support:

Tak for hjælpen med at få Tekla til at virke i BIM-laboratoriet. Vi har holdt dig beskæftiget ud over det sædvanlige med vores mange opringninger.

Markus Lampe:

Tak for dit overskudsagtige engagement i BIM-verdenen og for invitationen til seminaret hos NTI-Cadcenter

Tekla Support

Tak for de mange idéer for at få Tekla linket til at virke og tak for besøget inden jul.

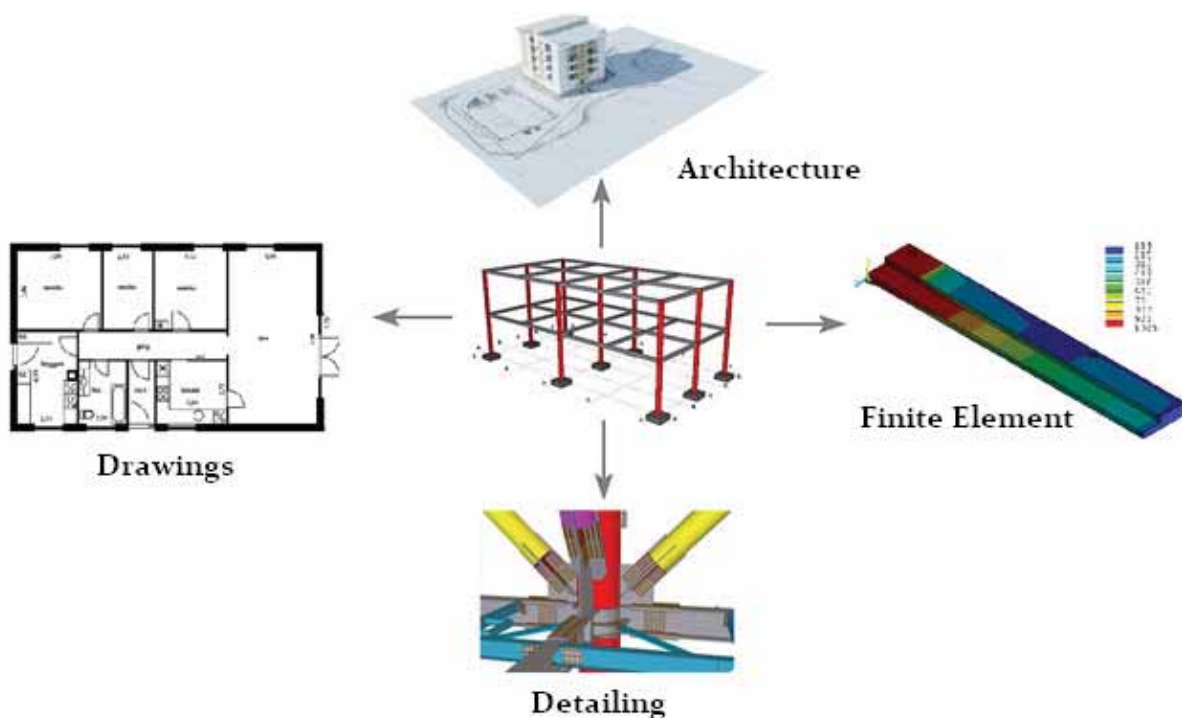
SUMMARY	3
OPGAVE FORDELING	4
ANERKENDELSE	5
DELRAPPORT 1 - BIM I PROJEKTERINGSFASEN	8
PROBLEMFORMULERING	8
INDLEDNING	9
DET DIGITALE BYGGERI	10
TRADITIONEL PROJEKTERING MELLEM ARKITEKT OG KONSTRUKTIONSINGENIØR	10
METODEBESKRIVELSE	14
TEGNINGSGENERERING	14
ARCHITECTURE	14
FINITE ELEMENT	14
DETAILING	14
PROGRAMVALG	15
BIM-PROGRAMMER	16
INFORMATIONSNIVEAUER	16
REVIT STRUCTURE 2010 / TEKLA STRUCTURES 14.1	16
ANALYSE AF LINKET OVERFØRSEL MELLEM REVIT STRUCTURE OG RSA	17
OVERFØRSEL AF GEOMETRI OG MATERIALEDATA	17
OVERFØRSEL AF UNDERSTØTNINGER, INDSPÆNDINGER, LASTER SAMT DÆK OG VÆGGE	19
OVERFØRSEL FRA REVIT TIL RSA OG TILBAGE TIL REVIT	21
SAMMENFATNING – TEST AF LINKET OVERFØRSEL	22
ANALYSE AF LINKET OVERFØRSEL MELLEM TEKLA STRUCTURES OG RSA	23
OVERFØRSEL AF GEOMETRI OG MATERIALEDATA	23
OVERFØRSEL AF UNDERSTØTNINGER, INDSPÆNDINGER, LASTER SAMT DÆK OG VÆGGE	24
OVERFØRSEL FRA TEKLA TIL RSA OG TILBAGE TIL TEKLA	26
KONKLUSION AF LINKET OVERFØRSEL	26
ANVENDELSESBASERET BRUG AF BIM VÆRKTØJER PÅ PUNKTHUSET	27
BÆRENDE MODEL SOM GRUNDLAG FOR ARKITEKT BIM MODEL	29
BIM MODEL SOM GRUNDLAG FOR VISUALISERINGSMATERIALE	31
BIM MODEL GRUNDLAG FOR TEGNINGSGENERERING	33
BIM MODEL SOM GRUNDLAG FOR GENERERING AF DETALJETEGNINGER	33
BIM MODEL SOM GRUNDLAG FOR STYKLISTEGENERERING	34
BIM MODEL SOM GRUNDLAG FEM BEREGNINGER	34
KONKLUSION FOR DELRAPPORT 1	35

DELRAPPORT 2 - STATISKE BEREKNINGER	37
INDLEDNING	37
BEREGNINGSFORUDSÆTNINGER	37
NORMER	37
ANDET	38
MATERIALER	38
BETON	38
STÅL	38
LASTER	38
VIND	39
SNE	39
LASTKOMBINATIONER	40
DET BÆRENDE SYSTEM	41
DET AFSTIVENDE SYSTEM	46
BEREGNINGER BRUDGRÆNSETILSTAND/ANVENDELSESGRÆNSETILSTAND	47
TAGKONSTRUKTION	47
6.ETAGE	54
HULDÆK	61
STABILITET	65
BÆRENDE VÆGGE STUEETAGE	69
DETALJERING	70
KONKLUSION FOR DELRAPPORT 2	73
SAMLET KONKLUSION	74
LITTERATURLISTE	76
WEBSIDER	76
OPGAVE BILAG	77
OPGAVEBILAG 1 - GENNEMGANG AF SPECIFIKKE REVITFUNKTIONER	77
STYKLISTEGENERERING OG AUTOMATISK AREAL - OG VOLUMENOPMÅLING	81
FAMILIES	83
PÅSÆTNING AF LAST, INDSPÆNDINGER OG UNDERSTØTNINGER	84
LINKET FEM OVERFØRSEL	85
REVIT DETAILING	86
OPGAVEBILAG 2 - GENNEMGANG AF TEKLA-RSA OVERFØRSELSFUNKTION	90

Delrapport 1 - BIM i projekteringsfasen

Problemformulering

Selvom store dele af den danske projekterende rådgivningsbranche har taget begreber som Det Digitale Byggeri, optimering ved hjælp af EDB programmer og 3D modellering ved hjælp af BIM værktøjer til sig, så er det stadig vores opfattelse, at mulighederne ved brugen langt fra udnyttes fuldt ud. Mens en mindre gruppe i branchen slet ikke gør sig i 3D BIM modellering, så udnytter den efterhånden store gruppe, som beskæftiger sig med det, slet ikke det potentiale som programmerne besidder. Som situationen er lige nu, så anvendes 3D modeller typisk kun til genereringen af tegningsmaterialet for givne byggerier af en hvis størrelse. Men de fleste BIM programmer besidder en række af egenskaber, der med den rette anvendelse og knowhow kan lette projekteringsfasen endnu mere. Der er tale om en bred vifte af områder, men de egenskaber vi vil undersøge nærmere er illustreret grafisk i Figur 1. Det ses her, at udover almindelig 2D tegningsgenerering, så kan 3D BIM modellen også benyttes på en række andre områder som detaljering med efterfølgende styklistegenerering, FEM beregninger og modellering i arkitektregi.



Figur 1
Nogle af de ting en 3dmodel kan bruges til¹

¹ Enkelte dele i fra figur 1 er taget fra Teklas hjemmeside se litteratur [11]

Indledning

For at opnå en logisk og fyldestgørende gennemgang af problemstillingen vil rapporten til dette kandidatprojekt blive opdelt i to dele. Delrapport 1 vil omhandle brugen af BIM-værktøjer i projekteringsfasen, mens delrapport 2 vil omhandle en konkret projekteringsopgave, hvor værktøjer beskrevet i delrapport 1 inddrages. Helt specifikt vil der være tale om følgende opbygning:

DELRAPPORT 1

En kort gennemgang af Det Digitale Byggeri finder sted for kort at opridse hvad initiativet helt præcis indebærer, hvilke krav det sætter til de rådgivende aktører i projekteringsbranchen og i hvilket omfang det gør sig gældende. Herefter vil en gennemgang af det vi karakteriserer som traditionel projektering blive foretaget med henblik på en BIM undersøgelse udgivet af foreningen BIPS² i maj 2008.

Dette efterfølges af en metodebeskrivelse af de fremgangsmåder og digitale værktøjer, som vi vil gøre brug af for at gøre op med den traditionelle projektering. Da opgaven lægger vægt på den statiske del af projekteringsforløbet vil et specifikt afsnit være at finde med test af FEM overførsler fra Revit Structure og Tekla Structures til FEM-programmet Autodesk Robot Structural Analysis. Med henblik på metodeafsnittet vil den omtalte teori mht. BIM værktøjer blive anvendt på et konkret projekteringseksempel, i form af højhusbyggeri i Hellerup, for at vurdere fordele og ulemper ved brugen deraf. Bygningen vil blive udsat for en række ændringer, og der vil blive udarbejdet en BIM-model af den modificerede udgave.

DELRAPPORT 2

Delrapport 2 vil indeholde en statisk analyse af den modificerede version af Punkthuset, hvor en række nøgleområder er udvalgt til nærmere gennemgang. Med henblik for at optimere projekteringsprocessen er de værktøjer gennemgået i delrapport 1 samt en række EDB-programmer inddraget. Der er her helt specifikt tale om linket overførsel fra Revit Structure til Autodesk Robot Structural Analysis og programmeringsprogrammerne Mathcad, Microsoft Excel og deres indbyrdes integrering. Der vil sideløbende blive konkluderet på, hvor vidt brugen af ovenstående har haft en optimerende virkning i forhold til traditionel projektering.

Afslutningsvis vil en konklusion for det samlede forløb være at finde.

² Forening for Byggeri, Informationsteknologi, Produktivitet og Samarbejde

Det digitale byggeri

Når der tales om Building Information Modeling, eller BIM som det betegnes i daglig tale, så er det svært at komme uden om begrebet Det Digitale Byggeri. Det Digitale Byggeri var et initiativ foretaget af den danske regering i januar 2007 som implementerede, at samtlige statslige bygherrer skulle stille en række informations- og kommunikationsteknologikrav til rådgivere og udførende. Det var erhvervs- og byggestyrelsen, med hjælp fra en udvalgt gruppe fra byggebranchen, som opstillede kravene som et resultat af, at byggeriet haltedede mht. kommunikationsproblemer, forsinkelser og overskridelser af budgetter. I denne henseende blev det bestemt, at ved statslige byggerier over en hvis enterprisesum, skulle de involverede parter i projekterings- og udførelsesfasen kommunikere digitalt på følgende områder:

- Digitalt udbud
- Projektweb
- 3D modeller
- Digital aflevering

Det blev statueret, at udbudsmaterialet skulle foreligge digitalt og indeholde en beskrivende mængdefortegnelse, hvor rådgiveren opgjorde de mængder, som entreprenørerne skulle ligge til grund for sit tilbud. De medvirkende parter skulle derudover udveksle alle dokumenter, tegninger og beskrivelser via en projektweb, hvor alle relevante aktører havde adgang til. Ved byggesum over 20 mio. kr. skulle det være obligatorisk for arkitekter og rådgivere at udføre 3D visualiseringer og simuleringer ved idé og projektkonkurrencer. Efterfølgende skulle arkitekter og rådgivere i benytte 3D BIM modeller til projekteringen, hvori der blev stillet en række krav til informationsniveau og indhold.

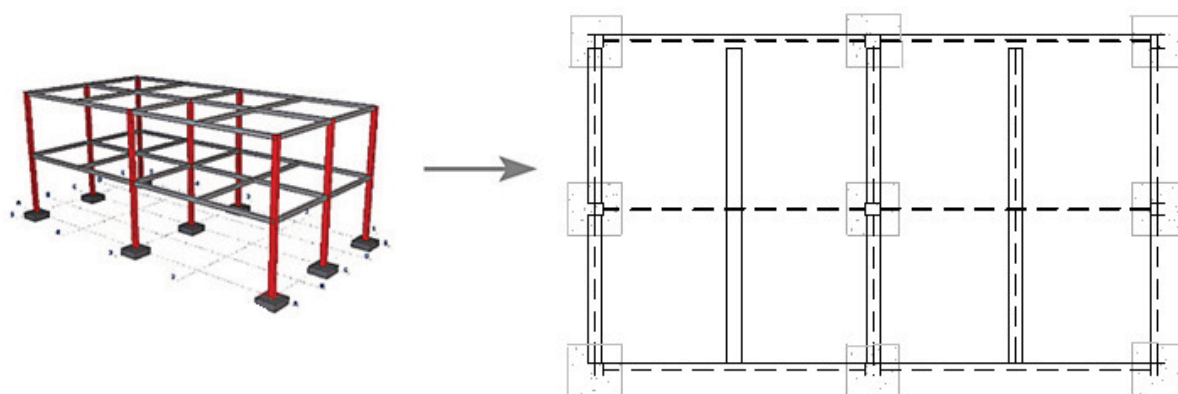
Dette er hovedpunkterne i de såkaldte bygherrekrav, når man taler om Det Digitale Byggeri. Når erhvervs og byggestyrelsen fremtrumfer et initiativ som dette, så er det selvfølgelig fordi, at de er af den klare overbevisning, at det vil gavne effektiviteten af byggeriet på længere sigt, også på trods af at det måske på kort sigt kan virke som en umiddelbar ekstraudgift for virksomhederne. Vi vil i det efterfølgende prøve at uddybe, hvad vi mener ligger bag ordstillingen ”traditionel projektering” og prøve at påpege nogle af de områder, hvor integreringen af BIM og EDB værktøjer efter vores mening ville effektivisere projekteringsfasen.

Traditionel projektering mellem arkitekt og konstruktionsingeniør

Når der benyttes en ordstilling som traditionel projektering, så er det selvfølgelig med vished om, at det er et vidt begreb, som kan have et utal af nuancer. Ikke desto mindre, så er det vores overbevisning, at der er ganske klare mønstre, som går igen ved projekteringsforløbet i dansk byggeri. Vi har derfor på baggrund af BIPS foreningens BIM undersøgelse fra maj 2008 forsøgt at skildre, hvad vi mener med ordstillingen traditionel projektering:

Bygherre beslutter sig i samråd med en arkitekt om et overordnet bud på den ønskede bygning, hvorefter rådgivende konstruktionsingeniører inddrages mht. til opbygning, materialevalg, søjleplacering, dimensionering mm.

Tegningsgenerering vha. 3D modellering har mere eller mindre gjort sit indtog i stort set alle større arkitekt - og ingeniørfirmaer, men udvalget af programmer er omfattende, og der er stor forskellighed i valget blandt de forskellige aktører. Mange benytter kun 3D modeller til dens hovedgøremål, nemlig at generere et nemt og præcist tegningsmateriale med minimal fejlmargen i forhold til tidligere 2D tegningsopbygning. Men ofte abstraheres der fra nogle af de andre muligheder BIM-modeller tilbyder pga. manglende kendskab, umiddelbare tidsbegrænsninger mm. Det på trods af, at det ofte kan være tidsbesparende i det lange løb. Den traditionelle brug af 3D BIM modeller er illustreret i Figur 2.



Figur 2
3dmodel til udtræk af 2d tegninger³

Foreningen for Byggeri, Informationsteknologi, Produktivitet og Samarbejde bedre kendt som BIPS udarbejdede i maj 2008 en medlemsundersøgelse, som skulle følge op på de kendsgerninger, man gjorde sig angående BIM i byggeriet i 2005. Her viste det sig, at det digitale byggeri på tre år havde sat sit klare fodaftryk i byggeriet. I 2005 havde 61 af godt 250 respondenter givet udtryk for at de havde erfaring med 3D modellering. Medlemsundersøgelsen i 2008 viste på dette specifikke spørgsmål en stigning på 80 %. Undersøgelsen tegnede altså et billede af en branche i fuld gang med at gøre sig klar til 3D arbejdsmetoder. Undersøgelsens resultater var på mange punkter enslydende med tre andre internationale undersøgelser, hvor især syv klare mål gjorde sig gældende for samtlige adspurgte med hensyn til, hvad de forventede som gevinster ved brugen af BIM værktøjer. De syv mål er illustreret i Tabel 1.

³ 3d-modellen til højre er taget fra Teklas hjemmeside se litteratur [11]

Rang	Forventet gevinst	antal	I %
1	Færre fejl, bedre kvalitet i bygningen	65	38
2	Effektivitet, optimeret arbejdsproces, spare tid, økonomi	63	37
3	Kontrol, overblik, gennemsigtighed i processen	31	18
4	Konsistens- kollisionskontrol, fejlfinding på modelniveau	28	17
5	Kostberegning, udbudsmateriale, mængdeudtræk, fx arealer	25	15
6	Visualisering, snit i komplicerede 3D detaljer	19	11
7	Samarbejde, kommunikation, gensidig forståelse	15	9

Tabel 1
Forventede gevinster ved en 3d model⁴

Det var altså hovedsageligt fejlminimering, procesoptimering, fejlfinding og økonomi som toppede listen, mens begreber som mængdeudtræk, snit i detaljerede 3D detaljer og samarbejde var at finde i bunden af listen

De hyppigst påpegede barrierer lød som følgende jf. Tabel 2

Rang	Barriere	antal	I %
1	Indlæring, omskoling efteruddannelse, uddannelsesefterslæb	47	29
2	Manglende evne/vilje hos "andre parter",	32	20
3	Mangel på fælles metode / standarder, smhg. 2D/3D, metadata	31	19
4	Utilstrækkeligheder i programmerne, især mht. DBK og IFC	24	15
5	Udveksling mellem stadig flere CAD-platforme	22	14
6	Kompleksitet, knaphed på ressourcer, disciplinkrav, få kan opfylde	19	12
7	Modstand mod forandring, dårligt rustede ledere	10	6

Tabel 2
Barrierer ved at bruge en 3dmodel

Det var altså hovedsagelig indlæring, omskoling, uddannelsesefterslæb, manglende vilje og evne som gjorde sig gældende som de største forhindringer. Men også mangel på fælles metode og standarder vægtede højt på barriere listen. Selvom 3D modeller af byggerier ofte kunne deles eller genbruges, så er tiltro til andres programvalg eller kompetencer ofte beskedne, så de involverede parter typisk vælger at opbygge deres egne modeller i deres respektive programmer. Dvs. at når arkitekten afleverer de første indledende skitser til den rådgivende konstruktionsingeniør, og sidstnævnte typisk efter modifikationer af projektet siger god for søjleplacering, profilstørrelser, vægplacering mm, så påbegynder hver af parterne deres opbygning af en 3D model. Arkitekten kan som regel nøjes med en, mens rådgivende ingeniørfirmaer typisk ender med én for hvert af områderne tegningsmateriale, installationer, FEM analyser mm.

Efter et byggepladsbesøg på ingeniørfirmaets Moe & Brødsgaards boligprojekt "8-tallet" i Ørestaden, blev det berettet at arkitekten benyttede Revit Architecture til sin 3D model, rådgivende konstruktionsingeniør Autodesk Robot til sin FEM analyse model og Revit Structure til sit

⁴ Tabel 1 og Tabel 2 er taget fra bips hjemmeside se litteratur[9]

tegningsmateriale, mens projektets jyske betonleverandør fik specialtegnet elementerne af en tysk tegnestue, som ud fra rådgiverens Revit Structure model optegnede det i Tekla. Entreprenørens projektleder kunne berette, at på trods af at de enkelte aktører havde stor kundskab og kunnen i de respektive programmer, så forekom der alligevel mindre afvigelser fra den ene model til den anden, hvilket til tider kunne resultere i komplikationer og dermed ekstra arbejde. Måske et meget godt eksempel på et byggeprojekt, hvor en fælles BIM platform fra projektets begyndelse kunne have resulteret i en mindre arbejdsbyrde og i sidste ende en besparelse for bygherren.

Det er nogle af disse problemstillinger vi vil prøve at belyse i dette kandidatprojekt. Til dette vil en række forskellige metoder blive benyttet på de 4 omtalte områder tegningsgenerering, detalje- og styklistegenerering, arkitektmodellering og FEM overførsler, for at illustrere den forhåbentlige gevinst bedst muligt. Disse metoder er beskrevet i det følgende afsnit.

Metodebeskrivelse

Tegningsgenerering

Som tidligere nævnt, så generes almindelige 2D arbejdstegninger nemt ud fra BIM modeller. I denne henseende vil en 3D-model i BIM programmet Revit Structure af et konkret byggeri blive opbygget for efterfølgende at bruge den til genereringen af plan-, sektions- og opstalttegninger af konstruktionen. Det konkrete bygningseksempel vil blive gennemgået senere i rapporten.

Architecture

Som et nyt aspekt vil muligheden for et større samarbejde på det tegnetekniske område i projekteringsfasen mellem arkitekt og konstruktionsingeniør blive undersøgt. Arkitekten modtager ingeniørens model af det bærende system, overfører den til Revit Architecture, og påbegynder derefter facadeimplementering, indretning og de mere arkitektbetonede ting der. Der vil her blive fokuseret på fordele og ulemper ved en sådan deling af modeller.

Finite Element

Mange BIM-programmer tilbyder muligheden for integrering med en række Finite Element programmer, herunder FEM-programmet Autodesk Robot. De konstruktionsdele der ønskes en statisk analyse af er typisk allerede optegnet i BIM modellen. Så når konstruktionsingeniøren begynder opbygningen af en statisk model i et givet FEM program, er det ofte dobbelt arbejde. Ved at genbruge BIM modellen og overføre de ønskede konstruktionsdele direkte til FEM programmet opnås der en tidsbesparelse alt afhængig af konstruktionsdelens størrelse. Ydermere mindskes risikoen for at fejl i optegningen og valg af materialer også. Overførsler kan i midlertidig ske på flere forskellige måder, dels den mere grundlæggende metode via IFC formatet, hvor stort set kun geometrien overføres, og dels ved den mere udbyggede metode "linket overførsel" hvor både geometri, laster, materialedata og indspændinger overføres direkte til FEM programmet fra BIM modellen. Sidstnævnte giver samtidig mulighed for opdatering af ændringer foretaget i FEM programmet og tilbage til BIM-modellen. Overførsel via et dynamisk link er et forholdsvis nyt begreb, så derfor vil en gennemgående analyse finde sted først, for at vurdere om den er tilstrækkelig til at benyttes på BIM-modellen. I denne analyse vil både Revit Structure og Tekla Structures indgå.

Detailing

BIM tegneprogrammer tilbyder muligheden for at højne informationsniveauet i modellen ved at genere detaljer. Det sker ved, at de ønskede konstruktionsdele markeres i Bim-modellen og påføres den ønskede detaljering. Detaljer kan typisk tilføjes enten som 2D eller 3D, hvor førstnævnte kun kan ses i bestemte views mens sidstnævnte indgår visuelt i 3d-modellen. Begge detaljeformer er i BIM programmer parametrisk opbygget hvilket betyder, at de let kan modificeres i løbet af projekteringsfasen. Derudover genereres detaljetegninger direkte fra modellen, hvilket i høj grad giver en tidsbesparelse. En række af detaljer som disse vil blive implementeret i BIM modellen på det aktuelle eksempel, og der vil blive konkluderet på brugen deraf.

Programvalg

Følgende programmer vil gennem rapporten blive anvendt:

Revit Structures 2010

Autodesk Robot Structural analysis professional 2010 (RSA)

Tekla Structures 14.1

Mathcad 14

Microsoft Excel 2007

BIM-programmer

Informationsniveauer

Når vi taler om integrering af detaljer i BIM modeller og indsættelse af specifikke bygningselementer, så kommer vi ikke uden om begrebet informationsniveau. Informationsniveau er et begreb udarbejdet af BIPS for at skildre, hvilket niveau BIM modeller befinder sig i rent detaljeringsmæssigt. Når bygherren bestiller en model hos rådgiver er der stor forskel på, om modellen skal benyttes til at forstå hvordan det endelige byggeri skal se ud, om modellen skal bruges til at regne på eller om den skal indgå i udførelsesfasen. Alt afhængig af hvilket anvendelsesgrundlag modellen skal danne fundament for inddeles 3D BIM modeller i følgende informationsniveauer⁵:

1. Informationsniveau 1 - En volumenmodel som primært beskæftiger sig med visualisering af bygningens overordnede udtryk i forhold til de omkringliggende omgivelser
2. Informationsniveau 2 - Stadig en forholdsvis simpel volumenmodel men i forhold til informationsniveau 1 så tilføjes rum, areal- og funktionsinddelinger.
3. Informationsniveau 3 – Element modellen opbygges nu af byggeobjekter i form af bygningsdele. Informationer gemmes i enten de enkelte bygningsdele eller i tilhørende databaser. Elementmodellen her er skitseagtig i sit grafiske udtryk men er udført geometrisk korrekt mht. bygningsdelenes indpasning i forhold til hovedkonstruktionen.
4. Informationsniveau 4 – Bygningsmodellen er en videre udbygning af informationsniveau 3 modellen. Elementmodellen er ligeledes opbygget af bygningsobjekter i form af bygningsdele, men besidder nu også specifikke detaljeløsninger på udvalgte steder.
5. Informationsniveau 5 – Bygningsmodellen indeholder nu alle bygnings- og konstruktionsdele tilhørende samtlige nødvendige egenskabsdata, enten i elementerne selv eller tilhørende databaser. Egenskabsdata fra en bygningsdel skal definere et produkt fra en faktisk producent.

Så når der i det følgende tales om et bestemt informationsniveau for en model, så hentydes der til det detaljeringsniveau modellen befinder sig i.

Revit Structure 2010 / Tekla Structures 14.1

Revit Structure og Tekla Structures er begge 3D modelleringsprogrammer i BIM familien, der hovedsageligt beskæftiger sig med de bærende dele af givne konstruktioner. BIM er en direkte forkortelse af betegnelsen Building Information Modeling og betyder i ordets bedste forstand en bygningsmodel fyldt med informationer. Dvs. når et betonvægelement, en stålbjælke eller lignende indsættes i Revit eller Tekla, så indeholder den en række informationer om materialevalg, dimensioner tværsnitsdata mm, som efterfølgende kan benyttes til en evt. styklistegenerering, volumen- og arealopmåling eller FEM-beregninger. Især sidstnævnte er interessant i denne rapport, da et af hovedtemaerne er optimering af den statiske beregningsproces ved hjælp af bl.a. BIM værktøjer. I denne henseende vil integrerings mulighederne mellem RSA og hhv. Revit Structure og Tekla Structures blive gennemgået i det efterfølgende.

⁵ bips hjemmeside se litteratur[9]

Analyse af linket overførsel mellem Revit Structure og RSA

Det følgende afsnit omhandler linket overførsel af BIM modeller fra Revit Structure til RSA, hvor der vil blive udført en række tests af overføringsfunktioner, for at se i hvilket omfang de fungerer.

Ønskes der at gøres brug af de informationer mht. geometri og materialedata mm, som allerede er tilknyttet de enkelte konstruktionselementer i BIM programmet, så er det vitalt at disse genkendes af det ønskede FEM beregningsprogram. For at overførslen kan have en optimerende virkning, så kræver det at FEM programmet genkender både lastværdier og lastkategorier mht. henholdsvis bæreevneberegninger og lastkombinationer.

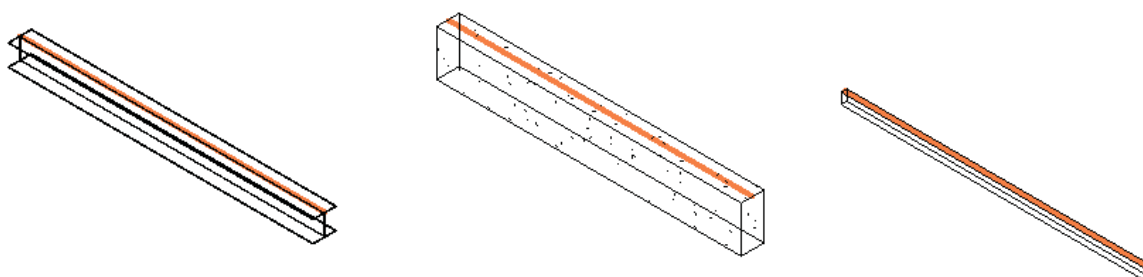
Testene vil blive opdelt således, at overførsel af geometriforhold såsom dimensioner af konstruktionsdele mm. testes først på en række meget simple konstruktionsdele for henholdsvis materialetyperne træ, stål og beton. Herefter udvides elementerne til en række mindre konstruktioner, hvor der udover materialegenskaber og dimensioner også tildeles indspændinger, laster og understøtninger i BIM modellen.

På overførslen af de mindre konstruktioner vil fokus, udover de omtalte dimensions-, materiale-, indspændings- og lastdata, være dels på genkendelse af spændretning på dækelementer defineret i BIM programmet, og dels på genkendelse i BIM programmet på ændringer foretaget i FEM programmet.

For at gøre det endelige testresultat så overskueligt som muligt, vil der blive tildelt smileys i antallet 1 til 3 alt afhængig af succes af den enkelte overførsel.

Overførsel af geometri og materialedata

Der testes indledningsvis 3 forskellige geometriske konstruktionsdele af 3 forskellige slags materialer. De tre konstruktionselementer er afbildet i Figur 3 nedenfor, hvor der henholdsvis er tale om en stål-, beton- og limtræsbjælke. Det ønskes bestemt i hvilket omfang linket overførsel genkender dels geometriske størrelser som flangebredde, kropstykkelser mm, men også det materialedata som Revit tilbyder muligheden for at tilknytte det enkelte element i modelleringsfasen.



Figur 3
Tre ens bjælker af forskellig materiale

For stålbjælkens vedkommende, så indekserer RSA opmålingen af tværsnittet på en anden måde end Revit, men ikke desto mindre, så formås de aktuelle dimensioner at overføres og ændres til den

terminologi som RSA benytter. Derudover overføres de materialeparametre som blev tildelt i Revit i form af elasticitetsmodul, inertimoment om x- og y-akse samt stålets karakteristiske flydespænding til perfektion. Samme tendens gør sig gældende for beton- og limtræsbjælken hvor dimensioner, tværsnitsareal, elasticitetsmodul og inertimomenter overføres uden de mindste komplikationer. Betonbjælkens trykstyrkespænding genkendes ligeledes, mens limtræsbjælken kun medtager bøjningsstyrken på trods af at de resterende styrker rent faktisk defineres i Revit.

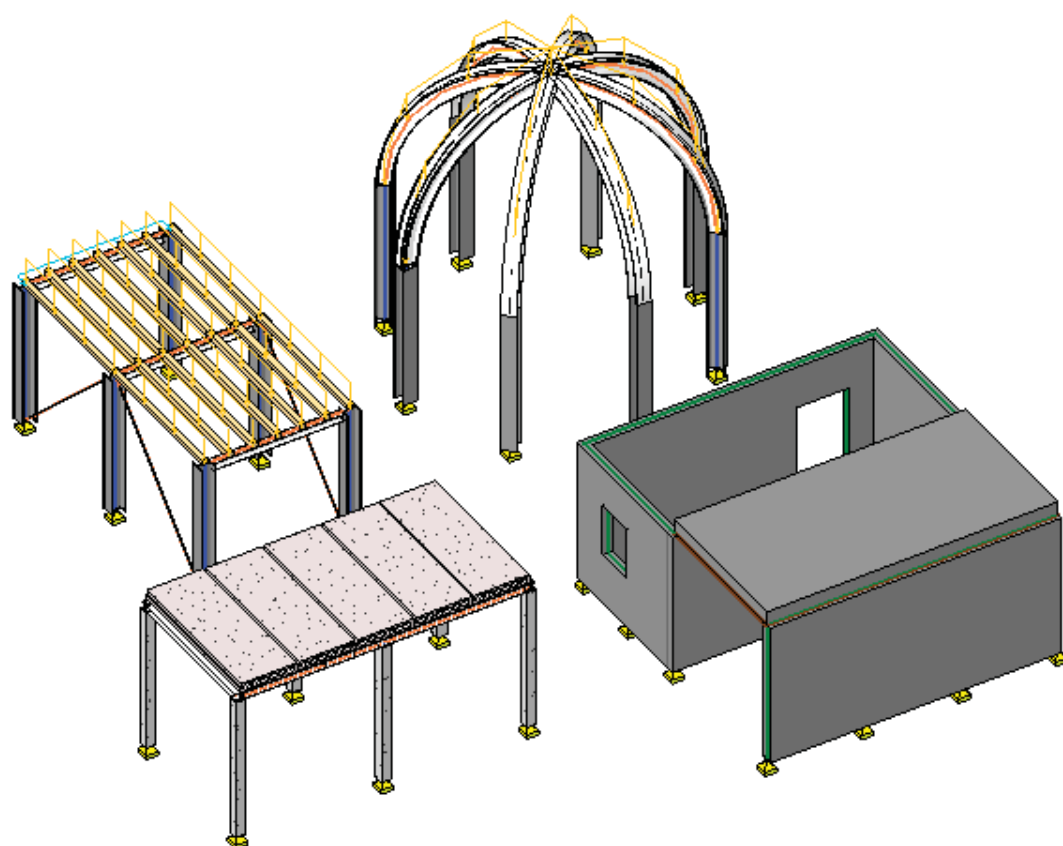
Ændres den lokale modul- eller referencelinje som er illustreret med orange på Figur 3, så opdateres denne ikke i RSA. De lokale referencelinjer danner i midlertidig grundlag for den pindemodell RSA opretter mht. snitkræftkurver mm, så denne negligering af ændringen må fortolkes som en nødvendighed. Sammenholdes de pågældende erfaringer for geometri- og materialedatakendelse for en linket overførsel mellem Revit Structure og RSA, så opnås der en status som illustreret i Tabel 3 nedenfor:

Overførsel	Karakter	Note
Dimensioner	☺ ☺ ☺	Dimensioner defineret i Revit genkendes fuldt ud i RSA
Tværsnitsdata	☺ ☺ ☺	Tværsnitsdata defineret i Revit genkendes fuldt ud i RSA
Materialeparametre	☺ ☺	Materialeparametre defineret i Revit genkendes fuldt ud i RSA
Referencelinjer	☺ ☺	Bibeholdes i profilers centerlinje

Tabel 3
Karaktergivning af overførsel

Overførsel af understøtninger, indspændinger, laster samt dæk og vægge

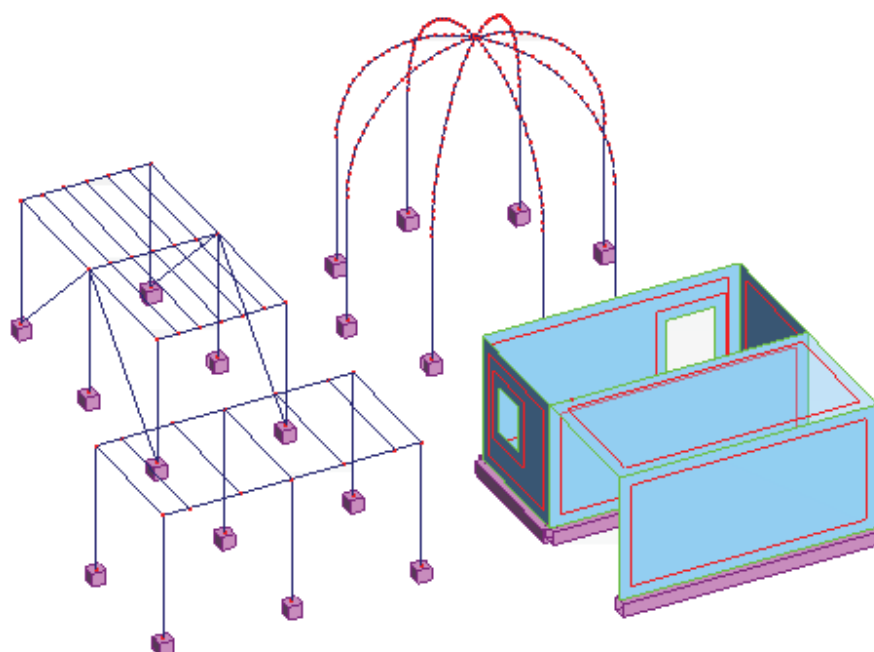
Der er oprettet fire forskellige konstruktioner, som illustreret på Figur 4, hvor laster med tilhørende lastkombinationer for henholdsvis brud- eller anvendelsesgrænsetilstand, understøtninger og indspændinger er tildelt inde i Revit Structure. Konstruktionerne øverst i Figur 4 er opbygget af stålprofiler af forskellige geometriske udformninger, mens de to resterende er opbygget delvist i stål og delvist i beton. Konstruktionen til venstre udformet med enkeltspændte betonhuldæk, mens konstruktionen til højre er udformet med et fuldt udstøbt betondæk, der ligeledes spænder en retning. Ovenstående skal ved den linkede overførsel kontrolleres med henblik på om værdierne eksporteres korrekt fra Revit Structure.



Figur 4
Tre konstruktioner fra Revit Structure 2010

Efter den linkede overførsel bliver konstruktionerne til pindemodeller som illustreret på Figur 5. Det ses her at huldækkene optræder som pinde hvorimod betonvægge- og betondæk i Figur 5's nederste højre hjørne bliver overført som flader. Den buede konstruktion, samt beton og stålprofiler bliver overført uden problemer. Når der ses på laster, lastkombinationer, understøtninger og indspændinger, så integreres disse stort set fejlfrit. Der opstår dog visse problemer ved den buede konstruktion, ved

betondækkene samt de frihedsgrader der er tildelt i Revit. For den buede konstruktions vedkommende, så fungerede den i Revit Structure som én bjælke, mens den i RSA er blevet opdelt i en række mindre bjælker. Dette resulterer i, at lasten tildelt i Revit Structure ikke genkendes og det er derfor nødvendigt at oprette dels en ny last og dels en ny lastkombination til den. For betondækkenes vedkommende fremkommer der to problemstillinger. Når dækket oprettes som en component er det ikke muligt at tildele dem en fladelast. Oprettelse derimod som et samlet dæk er det muligt at tildele fladelast, men her genkender RSA til gengæld ikke spændretningen.



Figur 5
De fire konstruktioner i RSA

Sammenholdes ovenstående opnås følgende kendsgerninger for linket overførsel fra Revit Structure til RSA mht. genkendelse af hhv. indspændinger, understøtninger, laster, lastkombinationer, spændretning og dækelementer jf. Tabel 4 nedenfor.

Overførsel	Karakter	Note
Indspændinger	☺ ☺ ☺	Indspændinger genkendes fuldt ud i RSA
Understøtninger	☺ ☺ ☺	Understøtninger genkendes fuldt ud i RSA
Laster	☺ ☺	Fuld genkendelse i RSA, på nær laster påsat buede konstruktionsdele
Lastkombinationer	☺ ☺	Fuld genkendelse i RSA, på nær lastkomb. Tilh. buede konstruktionsdele
Dækelementer	☺	Geometrisk genkendelse i RSA, men håndteres som bjælke.
Spændretning		Spændretning for dæk genkendes ikke.

Tabel 4
Karaktergivning af overførsel

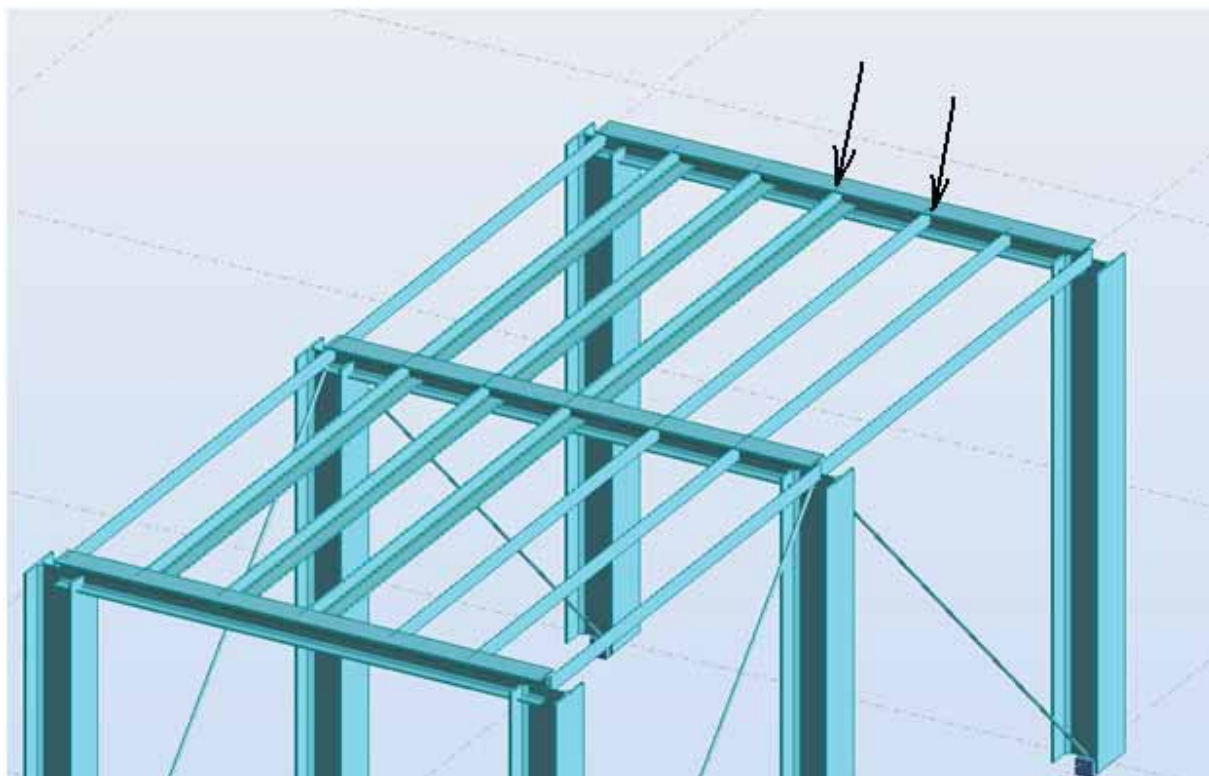
Overførsel fra Revit til RSA og tilbage til Revit

Det efterprøves nu hvorledes en Revit integreret model kan modificeres i RSA og efterfølgende føres tilbage til Revit Structure igen. Til dette benyttes følgende fremgangsmåde.

På Figur 4 er konstruktionen øverst til venstre overført til RSA. De øverste trælægter ændres i RSA til vinkel stålprofiler, de indspændingsforhold som er tildelt bjælkerne modificeres ligeledes ligesom lastværdier samt understøtninger ændres. Den efterfølgende eksportering tilbage til Revit byder på følgende scenarie:

Ændring af profiler

Ændring af profiler giver ikke anledning til problemer, der er dog visse ulemper at påpege ved eksporteringen. Eksempelvis opstår der problemer ved håndteringen af asymmetriske tværsnit, da der i Revit Structure ved indsættelse af en sådan oprettes et begyndelses- og et endepunkt for profilet, som bestemmer, hvordan den skal vende. Dvs. at det er afgørende fra hvilken side der startes med at modellere profilet. På Figur 6 ses det ved overførsler af asymmetriske profiler, ikke tegnet fra samme side, resulterer i at nogle af profilerne er roteret om deres egen akse. Det er således ingen problemer i at udføre ændringer i RSA og overføre dem tilbage til Revit Structure, man skal bare gøre sig klart, at der fra start skal modelleres ensformigt.



Figur 6
Bjælker der er roteret om egen akse

Ændring af Indspændinger

Indspændinger eller "Releases" kan i RSA med nem hånd tildeles de pågældende konstruktionsdele og disse bliver uden problemer overført tilbage til Revit Structure. Igen skal der dog tages højde for hvor ens begyndelses- og endepunkt befinder sig på de enkelte konstruktionsdele.

Ændring af Laster og Understøtninger

Laster og understøtninger derimod bliver ikke opdateret i Revit hvis disse modificeres i RSA og efterfølgende sendes tilbage. Selv om der oprettes nye laster i RSA, så opdateres disse heller ikke ved en efterfølgende overførsel tilbage til Revit. Det er altså nødvendigt at påføre laster og understøtninger i Revit Structure eller tildele dem i RSA, hver gang en gennemregning er nødvendig.

Andet

Hver gang en linkning mellem Revit Structure og RSA finder sted bliver der oprettet en ny RSA fil. Dette betyder indstillinger for job preferences, rapportopsætning og normvalg mm ikke gemmes, hvilket vil sige at de skal indstilles på ny hver gang.

Sammenholdes ovenstående erfaringer for tilbageoverførsel fra RSA til Revit mht. indspændinger, understøtninger, laster og lastkombinationer, så opnås der ved linket overførsel en status som illustreret i Tabel 5 nedenfor:

Overførsel	Karakter	Note
Indspændinger	☺ ☺ ☺	Fuld kendelse i Revit af indspændingsændringer foretaget i RSA
Understøtninger	☺	Ingen genkendelse i Revit af modificerede understøtninger i RSA
Laster	☺	Ingen genkendelse i Revit af modificerede laster i RSA
Lastkombinationer	☺	Ingen genkendelse i Revit af modificerede lastkombinationer i RSA

Tabel 5

Karakterskema over tilbageførsel til Revit

Sammenfatning – Test af linket overførsel

Linket overførsel mellem Revit Structure og RSA fungerer optimalt på geometridelen, hvor det stort set kun er brugerens Revit egenskaber, som sætter begrænsningerne. Materialedata mm. kan let defineres i Revit og genkendes i RSA, hvor de kan benyttes i de statiske beregninger. Laster, lastkombinationer, indspændinger og understøtninger påsættes nemt i Revit og overføres til RSA, hvor de efterfølgende ligeledes er tilgængelige for statiske beregninger. Der forekommer dog visse problemer ved buede konstruktioner samt ved spændretninger på dæk tildelt i Revit.

Overførsel af modificerede modeller i RSA tilbage til Revit fungerer med begrænset succes. Det kan som udgangspunkt ikke anbefales, at der modelleres i RSA og overføres tilbage til Revit da der ved linkning tapes for mange informationer.

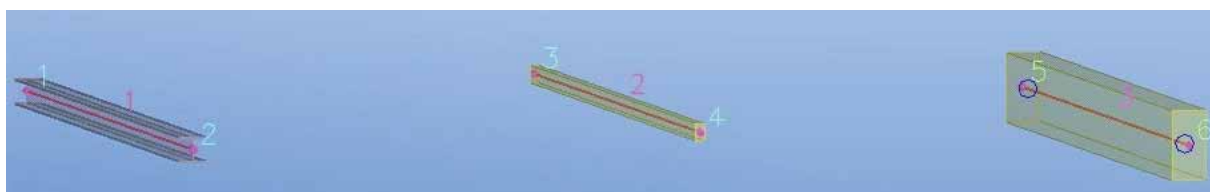
Det er vigtigt at gøre sig klart, at når der modelleres i Revit Structure er det essentielt, at man fra start fokuserer på, at det der på overfladen skal fungere som et eventuelt tegningsmateriale, samtidig skal være nøje forbundet af den analytiske pindemodel. Når dette er sagt, så er det stort set kun Revit Structure brugeren, som sætter begrænsningen. Så længe man kan få de enkelte elementers referencelinjer til at hænge sammen, vil den linkede overførsel medtage modellen til FEM-programmet.

Analyse af linket overførsel mellem Tekla Structures og RSA

I lighed med afsnittet *Analyse af linket overførsel mellem Revit Structure og RSA* vil en række lignende konstruktionsdele blive modelleret i Tekla Structures og overført til RSA. Opbygningen af analysen vil være identisk med Revit-RSA analysen for nemmere at kunne sammenligne de to BIM-programmer. Den specifikke fremgangsmetode fremgår af *Opgavebilag 2 - Gennemgang af Tekla-RSA overførselsfunktion*.

Overførsel af geometri og materialedata

På Figur 7 nedenfor ses igen en stål-, træ- og betonbjælke. Der testes i hvilket omfang RSA genkender dimensioner, tværsnitsareal, materialedata og referencelinjer tildelt i Tekla.



Figur 7
Tre bjælker af forskellig materiale

For stålbjælkens vedkommende overføres dimensioner, materiale- og tværsnitsdata til perfektion. For beton- og træbjælken overføres dimensioner og tværsnitsdata ligeledes uden komplikationer, men mht. integreringen af materialeparametre opstår der delvist problemer. Brudspændinger for hhv. træ og beton overføres ikke. Dette har dog ikke noget med den linkede overførsel at gøre da disse ikke kan defineres i Tekla. Mht. overførsel af referencelinjer gør samme tendens sig gældende som ved Revit - RSA overførslen, hvor RSA automatisk placerer referencelinjen gennem elementernes neutrale akser.

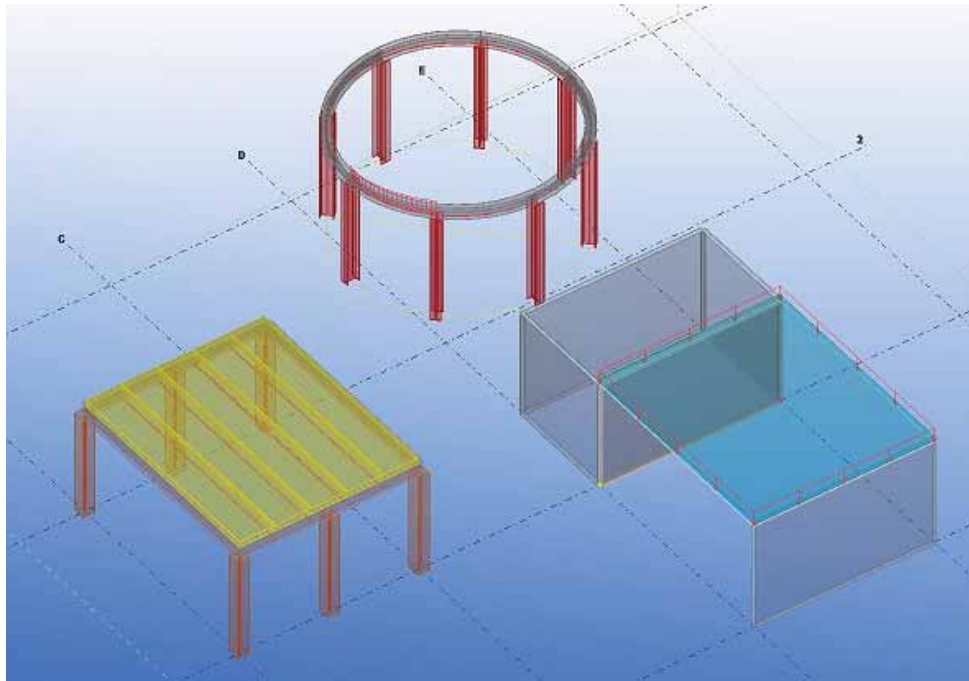
Sammenholdes de pågældende erfaringer for geometri- og materialedatagenkendelse for en linket overførsel mellem Tekla og RSA, så opnås der en status som illustreret i Tabel 6

Overførsel	Karakter	Note
Dimensioner	☺ ☺ ☺	Dimensioner defineret i Tekla genkendes fuldt ud i RSA
Tværsnitsdata	☺ ☺ ☺	Tværsnitsdata defineret i Tekla genkendes fuldt ud i RSA
Materialeparametre	☺	Materialeparametre defineret i Tekla genkendes delvist i RSA
Referencelinjer	☺ ☺	Bibeholdes i profilets centerlinje

Tabel 6
Karaktergivning

Overførsel af understøtninger, indspændinger, laster samt dæk og vægge

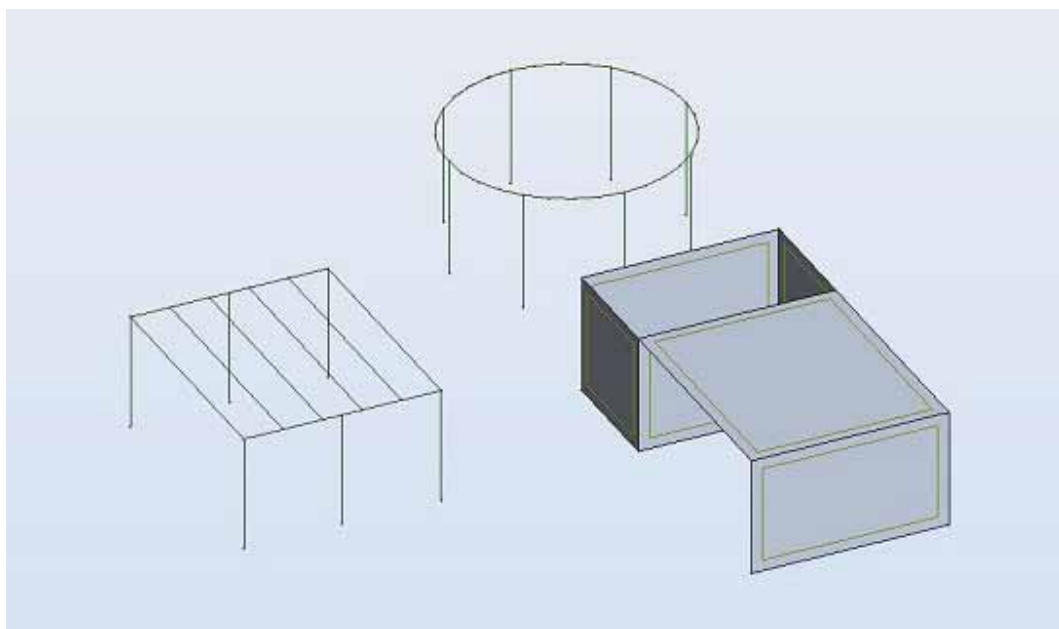
For at undersøge i hvilket omfang understøtninger, indspændinger, laster samt dæk og vægge bliver overført, er der oprettet tre forskellige konstruktioner. Disse kan ses i Figur 8.



Figur 8
Tre konstruktioner fra Tekla

På Figur 8 er konstruktion nederst til venstre udført med betonsøjler, stålbjælker samt huldæk med en spændretning. Konstruktionen nederst til højre er udført af betonvægge med et betondæk der også her er tildelt en spændretning. Øverst i figuren ses en buet konstruktion udelukkende bestående af stål. Der er oprettet dels linjelaster på de buede bjælker samt en fladelast på betondækket. Derudover er der oprettet en lastkombination i brudgrænsetilstanden.

Efter overførslen fra Tekla til RSA ser de tre konstruktioner ud som vist på Figur 9. Her ses det at nøjagtig som ved Revit overførslen tidligere, så er huldækkene blevet til pindemodeller og det resterende af geometrien er overført uden komplikationer.



Figur 9
Tre bygninger i RSA

Indspændinger bliver igen overført uden problemer og det samme gælder understøtningsforholdene for søjlerne. Der opstår dog komplikationer ved væggene, da disse ikke kan tildeles linjeunderstøtninger. Mht. laster er det igen de samme problemer som ved Revit. Linjelaster kan sagtens overføres, men ved de buede bjælker går det galt. Det samme gør sig gældende for fladelasten som slet ikke bliver overført. Lastkombinationer oprettet i Tekla fungerer fint og kan ses inde i RSA efterfølgende. I Revit blev det undersøgt om dækket med én spændretning kunne overføres og efterfølgende registreres i RSA. Dette var ikke muligt og det samme er gældende for Tekla. I Tabel 7 ses opsummeringen af hvorledes den linkede overførsel fungerer mht. indspændinger, understøtninger, laster, lastkombinationer, huldæk og spændretning.

Overførsel	Karakter	Note
Indspændinger	☺ ☺ ☺	Indspændinger genkendes fuldt ud i RSA
Understøtninger	☺ ☺	Ikke muligt at give vægge en linjeunderstøtning. Alle andre fungerer
Laster	☺ ☺	Laster på buede konstruktionsdele samt fladelaster genkendes ikke
Lastkombinationer	☺ ☺	Fuld genkendelse i RSA, på nær lastkomb. Tilh. buede konstruktionsdele
Huldækelementer	☺	Geometrisk genkendelse i RSA, men håndteres som bjælke.
Spændretning		Spændretning for dæk genkendes ikke.

Tabel 7
Karaktergivning

Overførsel fra Tekla til RSA og tilbage til Tekla

Denne funktion virker ikke og vil derfor ikke blive analyseret yderligere.

Konklusion af linket overførsel

Efter de to analyser af linket overførsel fra hhv. Revit Structure og Tekla Structures er blevet udført kan der konkluderes følgende.

Linket overførsel er et redskab, der kan lette arbejdsbyrden for konstruktionsingeniøren i hans daglige arbejde. Der kan slippes for en genmodellering i et givent FEM-program, da BIM-modellen allerede besidder de nødvendige informationer. Når det er sagt, så er der stadig lang vej til en fuldstændt produkt, da visse dele ikke fungerer optimalt. På nuværende tidspunkt vil en fuldstændig model af et givent byggeri i vores øjne ikke kunne overføres, da der simpelthen vil være for mange huller i den analytiske model. Dette er ensbetydende med at linket overførsel kun kan anvendes på en måde, hvilket indebærer overførsel af små overskuelige modeller eller udvalgte dele af en givne konstruktion. Linket overførsel kan stadig have en optimerende virkning, da der stadig slippes for en genmodellering af de udvalgte dele. Samtidig vil kombinationen med BIM modellen give et visuelt billede af delene, der skal analyseres, hvilket gør det nemmere at udføre de nødvendige analyser.

Hvis man sammenligner de to BIM-programmer Revit Structure og Tekla Structures må det erkendes, at den linkede overførsel fungerer bedst mellem Revit Structure og RSA. Dette skyldes hovedsageligt at Teklas opdateringsfunktion slet ikke fungerer, mens definering af understøtnings-, last- og materialeparametre ligeledes halter efter. Om dette er et resultat af, at Revit og RSA begge udbydes af softwarefirmaet Autodesk, mens Tekla er et separat produkt, skal vi ikke gøre os kloge på. Men hvis dette imidlertid er kensgerningen, så kunne man godt forestille sig, at en videreudvikling på linket overførsel kommer til at foregå i et hurtigere tempo mellem Revit og RSA end ved Tekla og RSA.

Anvendelsesbaseret brug af BIM værktøjer på punkthuset

Der er nu nået til det punkt i rapporten hvor der ved en anvendelsesbaseret brug af BIM-værktøjerne, som er beskrevet i de foregående afsnit, vil blive belyst hvordan en evt. optimering kan finde sted i forhold til traditionel projektering. Til dette vil et eksempel fra det virkelige liv blive inddraget i form af vores modificerede udgave af et af Punkthusene i Tuborg havn.

Punkthusene ved Tuborg havn i Hellerup er et nyere kontorbyggeri, hvor bryggeriet Carlsberg er bygherre, mens de arkitektoniske løsninger er udført af Wilhelm Lauritsen Arkitekterne. Rambøll er rådgivende ingeniør på byggeriet, som hovedsageligt er rettet mod erhvervsmæssige formål. Wilhelm Lauritsens endelige bud på det udvendige facadeudtryk er illustreret på Figur 10



Figur 10
Arkitektoniske udtryk af punkthusene⁶

Formålet med denne opgave er at foretage en modificering af et af punkthusene. Denne nye modificerede konstruktion vil blive indtegnet som en BIM model i Revit Structure 2010 og danne grundlag for det efterfølgende projekteringsarbejde.

Der vil i denne henseende blive fokuseret på de områder, som blev udspecificeret i rapportens indledning i form af følgende punkter:

⁶ Billedet kan findes ud fra litteratur [10]

1. Konstruktionsingeniørens model for det bærende system, i dette tilfælde udført i Revit Structure, som udgangspunkt for arkitektens BIM model viderebygget i Revit Architecture
2. Revit Architecture som grundlag til genereringen af visualiseringsmateriale for det pågældende byggeri
3. Tegningsgenerering via 3D Revit Architecture BIM model i form af plan-, opstalt-, og facadearbejdstegninger.
4. Tegningsgenerering via 3D Revit Structure BIM model i form af detaljetegninger.
5. Styklistegenerering via 3D Revit Architecture BIM model
6. 3D Revit Structure BIM model som fundament for FEM beregninger i RSA

I forbindelse med eftervisningen af ovenstående punkter vil en række figurer, tabeller og tegninger blive fremlagt for at illustrere resultatet deraf. Derudover er der udarbejdet en vejledning i de specifikke Revit funktioner, som er beskrevet i *Opgavebilag 1 - Gennemgang af specifikke Revitfunktioner*.

Der vil med udgangspunkt i disse og selve opbygningen af dem blive diskuteret, i hvilket omfang fremgangsmåderne har en optimerende virkning i forhold til traditionel projektering. Derudover vil der blive fokuseret på fordele og ulemper ved fremgangsmåderne med hensyn til tidsforbrug for henholdsvis udførelse og oplæring i programmerne.

Bærende model som grundlag for arkitekt BIM model

Tidligere i rapporten blev ideen med et større samarbejdesniveau mellem konstruktionsingeniør og arkitekt nævnt. Helt specifik var der her tænkt, at der ved projektets indledende fase blev aftalt en fælles BIM-platform og derved muligheden for deling af modeller. Revit er til dette projekt valgt som den fælles BIM-platform iform af dens grene til både konstruktionsingeniøren og arkitektens verden.

Der vil følgende blive illustreret hvorledes vores Revit Structure model af det bærende system for Punkthuset kan overføres og viderebygges i Revit Achitecture

I Figur 11 ses Revit Structure modellen af vores modificerede udgave af det bærende system for punkthuset. Samtlige konstruktionsdele er udført i de dimensioner og med de materialedata, som er fastlagt i den statiske rapport.



Figur 11
Bærende model fra Revit Structure af den modificerede udgave af Punkthuset

Den statiske model integreres fra Revit Structure ind i Revit Architecture og der besiddes derefter en model i Revit Architecture identisk med den, som danner grundlag for det bærende system i bygningen. Arkitekten kan nu skabe visualiseringsmateriale ud fra kundens specifikke præferencer. Lad os forestille os, at kunden har udtrykt en særlig svaghed for designet på produkter fra Apple, mørke glasfacader og et ikke-kvadratisk helhedsudtryk. Han ønsker bygningen skal fremstå som et "landmark", dels som et symbol for firmaets gode ry og succes, men også i det omkringliggende område som hovedsagelig består af vand. I samråd med kunden er der nået til enighed om en plan over søjle, bjælke og væg placering, som i sidste ende efter evt. modifikationer er blevet godkendt af den rådgivende ingeniør mht. statiske beregninger og installationsføringer. Arkitekten kan nu påbegynde opbygningen af den fulde BIM model helt op til informationsniveau 4 mht. kundens ønsker, mens den rådgivende ingeniør sideløbende kan begynde sine beregninger på den fuldt ud identiske model. Med henblik på ovenstående er det arkitektoniske bud, udført i Revit Architecture, illustreret i Figur 12.



Figur 12
Arkitektonisk udtryk af modificeret Punkthus

Om denne form for deling er realistisk i virkeligheden er svært at forudsige, men vi ved dog af erfaring, at enkelte firmaer i den danske projekteringsbranche har begivet sig ud på lignende arbejdsgange med succes. På et seminar vi besøgte i Værløse, arrangeret af NTI-Cadcenter, kunne to repræsentanter fra hhv. Søren Jensens Rådgivende Ingeniører og Årstiderne Arkitekter berette om et særdeles veludført projekt, hvor der fra start af blev aftalt en fælles platform, hvor deling af modeller var muligt.

BIM model som grundlag for visualiseringsmateriale

Brugen af BIM værktøjer er efterhånden hverdag for langt de fleste af de lidt større arkitektfirmaer, tegnestuer og rådgivende ingeniører, for da slet ikke at tale om landets højere byggetekniske læreanstalter som Danmarks Tekniske Universitet, Aalborg Universitet, Arkitektskolen mm. Men som BIM undersøgelsen i rapportens indledning også indikerer, så er tegnings- og illustrationsgenerering via BIM modeller stadig ikke så udbredt blandt projekteringsfasens mindre aktører. Der vil i den henseende blive gennemgået en række eksempler på, hvordan man kan løfte sin BIM model til et højere informationsniveau rent detalje- og indholdsmæssig. På Figur 13 ses et bud på et muligt arkitektonisk udtryk for receptionen i vores modificerede udgave af Punkthuset.



Figur 13
Renderet billede fra Revit Architecture

På Figur 14 og Figur 15 ses eksempler på hvordan man ved flittig brug af "component catalogerne" jf. *Opgavebilag 1 - Gennemgang af specifikke Revitfunktioner* i Revit Architecture. En efterfølgende rendering kan gengive et mere eller mindre realistisk billede af for eksempel det kontorudtryk, som man finder ønskværdig og efterfølgende præsenterer det for kunden.



Figur 14
Renderet billede fra Revit Architecture



Figur 15
Renderet billede fra Revit Architecture

BIM model grundlag for tegningsgenerering

Som nævnt i afsnittet ovenfor, så er brugen af illustrations- og tegningsgenerering fra BIM modeller stadig et nyt fænomen blandt projekteringsfasens mindre aktører. Især sidstnævnte vedrører stort set samtlige grupper som beskæftiger sig med projektering, hvad end det er i arkitekt- eller ingeniørregi. Her er der virkelig store tidsbesparelser at hente, hvis man ellers mestrer programmerne. I appendixbilagsmappen kan opstalttegninger, plantegninger og facadetegninger, genereret ud fra BIM-modellen af den modificerede udgave af Punkthuset, ses.

Det ses af tegningsmaterialet i appendixbilagsmappen at de udseendemæssigt er af fuldstændig samme standard som arbejdstegninger tegnet i 2D i Autocad eller lignende. Fordelen ved Revit eller andre BIM relaterede tegneprogrammer er bare, at når modellen er færdig, så er samtlige facade-, opstalt og sektionssnit stort set kun et museklik væk. Samtidig mindskes risikoen for fejl drastisk i forhold til direkte udførelse af 2D, i og med samtlige tegninger trækkes ud fra samme model og ikke laves separat.

BIM model som grundlag for generering af detaljetegninger

Som en ret ny og måske stadig ikke så udviklet funktion, så tilbyder Revit muligheden for at indsætte detaljemoduler direkte ind i 3D modellen og efterfølgende generere tegninger af dem. I lighed med den almindelige tegningsgenerering, så kræver modelleringen af detaljer tid og knowhow til programmet, men når de ellers er sat ind og samtlige parametre er indstillet, så er de færdige detaljetegninger ligeledes stort set kun et museklik væk. De indbyggede databaser som indeholder detaljemodulerne er stadig lidt sparsommelige, og det samme gælder udbuddet på de omtalte websider jf. *Opgavebilag 1 - Gennemgang af specifikke Revitfunktioner*. Ikke desto mindre, så er selve idéen og fremgangsmåden efter vores mening vejen frem. Når databaserne forhåbentlig en gang kommer til at besidde stort set alle gænge samlinger, eller hvert fald muligheden for downloade dem, så er der helt sikkert store tidsbesparelser og økonomiske optimeringsmuligheder at hente.

I appendixbilagsmappen ses nogle generede detaljetegninger fra Punkthuset. Tegning 6 og 7 er eksempler på det tilfælde, hvor den valgte samling ikke var at finde i Revits detaljedbaser. Her er detaljen udført som en 3d tegning i Autocad og efterfølgende eksporteret til Revit, så den kunne indgå i tegningsbiblioteket på ligefod med de andre.

Tegning 8 er et eksempel på en parametrisk boltesamling, hvor boltestørrelse, indbyrdes afstand mm. hurtigt kan indstilles. Skulle boltegruppen midlertidig ændres midtvejs i projekteringen, så modificeres parametrene for detaljen bare i 3D modellen efterfulgt af et klik til en ny tegningsgenerering af den. En ændring som i almindelig Autocadregi ville have budt på en del ekstraarbejde, men som i BIMregi løses ved udførelsen af en række ganske få arbejdsprocesser.

I Tegning 14 er der udarbejdet et eksempel på, hvad Revits armeringsfunktion tilbyder mht. udarbejdelsen af tegningsmateriale af en betonbjælke. Parametrene for armeringen er indledningsvis indstillet i Revit, som beskrevet i *Opgavebilag 1 - Gennemgang af specifikke Revitfunktioner*, og tegningsmaterialet er efterfølgende genereret.

I tegning 15 og 16 er der vist yderligere to af Revits muligheder for detaljeringer. Fremgangsmåden til disse kan også findes i *Opgavebilag 1 - Gennemgang af specifikke Revitfunktioner*

BIM model som grundlag for styklistegenerering

Som nævnt tidligere, så besidder Revit funktioner, som kan generere styklister ideel til efterfølgende budgetterings- og prisoverslagsberegninger. I appendixmappens bilag 14 er ovenstående funktion benyttet på optællingen af gennemgående søjler og resultatet fremgår deraf. Der er ingen tvivl om at fejlminimeringen og det aktuelle tidsforbrug forbedres, hvis man sammenligner med traditionel anvendelse, hvor opgaver som disse typisk bliver udført manuelt. Der er stadig ting som Revit ikke formår at medtage i sine beregninger, så helt at afskrive den manuelle fremgangsmåde kommer dog ikke på tale. Når det er sagt, så er prisoverslagsberegning og budgettering ved hjælp af opmålinger genereret af Revit helt klart vejen frem efter vores mening. I *Opgavebilag 1 - Gennemgang af specifikke Revitfunktioner* er en nærmere vejledning af denne funktion beskrevet.

BIM model som grundlag FEM beregninger

Med henblik på de relative succesfulde testresultater af linket FEM overførsel, er det valgt at overføre tagkonstruktionen fra Revit Structure modellen af den modificerede version af punkthuset til RSA. Laster, lastkombinationer og indspændinger er indsat i Revitmodellen og efterfølgende linket ind i RSA. En nærmere gennemgang af forløbet er at finde i afsnittet *Beregninger brudgrænsetilstand/anvendelsesgrænsetilstand* i Delrapport 2.

Hvad påsætning af laster, lastkombinationer og indspændinger angår, så er der stort set tale om det samme tidsmæssige forbrug, hvad enten man påsætter dem i Revit Structure eller RSA. Men hvad modelleringen af det bærende system for tagkonstruktionen angår, så er der helt klart en tidsmæssig besparelse ved at linke den direkte ind i RSA frem for at tegne den på ny. Oveni kommer det faktum, at det sikres at BIM modellen og FEM modellen er identisk, risikoen for afvigelser mellem de to bortfalder altså. I denne henseende vil vi derfor i det efterfølgende benytte FEM-linkning sammen med en række edb-programmer i håb om at optimere projekteringen af udvalgte konstruktionsdele på den modificerede udgave af Punkthuset.

Konklusion for delrapport 1

Der er gennem delrapport 1 blevet testet en række BIM redskaber med henblik på at optimere projekteringsforløbet i byggeriet. For at anskueliggøre processen og gøre den mere sammenlignelig med det traditionelle projekteringsforløb, er der blevet inddraget et konkret eksempel.

Tegningsgenerering

Der er efter vores opfattelse ingen tvivl om tidsbesparelsen ved tegningsgenerering fra en 3d BIM model i forhold til optegning i 2D. For at kunne begå sig i Revit Structure kræves en del ressourcer til indlæring af programmets muligheder, men når dette sagt så er fordelene også at mærke. Rent kvalitetsmæssig så opnås der efter vores mening tegningsmateriale af et helt andet niveau end ved separate 2D opbygninger, og når man først mestrer programmet, så er tidsbesparelsen så omfattende at 3D modellering er svært at komme udenom. Hertil kommer det faktum, at modifikationer i løbet af projekteringsfasen stort set foretages med et fingreknips, dette gælder både ændringer direkte i modellen men også den efterfølgende tegningsgenerering.

Detailing

Selve principperne bag detaljefunktionerne i Revit Structure taler for sig selv, og der er efter vores mening ingen tvivl om, at indsættelsen af parametriske samlinger direkte i 3D modellen er fremtiden. Lige pt. er databaserne dog lidt sparsommelige, så man støder tit på, at den specifikke detalje som man ønsker at indsætte, ikke er at finde. På dette punkt har man dog taget et skridt i den rigtige retning med lanceringen af en række ekstra "extensions" som f.eks. armerings- og ståldetaljeapplikationerne. Her er databaserne allerede noget mere fyldestgørende end tidligere og med den rette kendskab opnås samme optimeringsmuligheder mht. modifikationer og detaljetegninger, som nævnt ovenfor ved tegningsgenerering.

En anden væsentlig bagside er, at indsættelsen af detaljer resulterer i meget tunge modeller. Skal begrebet rigtig slå igennem, så kræver det at Autodesk finder en løsning, hvor implementeringen ikke resulterer i filer i størrelser, som stort set ikke kan håndteres af almindelige PC'er. Når det er sagt, så er det dog stadig vores overbevisning, at "detailing" i BIM modeller er vejen frem.

Arkitekt

Implementeringen af den bærende Revit Structure model i Revit Architecture forløb stort set uden problemer. Programmerne bærer tydeligt præg af, at de er begge er udarbejdet af Autodesk og taler utrolig godt sammen. Prøver man derimod en IFC overførsel fra to programmer fra forskellige udbydere, så opstår der pludselig en række problemer, som gør processen væsentlig mere kompleks. Så rent tegneteknisk, hvert fald i Revit Regi, er der efter vores mening ingen hindring for, at man ikke skulle dele modeller i den henseende. Men om den specifikke arbejdsgang eller arbejdsdeling er realistisk i virkeligheden er nok en anden sag. Der er ofte en ganske klar ansvarsfordeling blandt de aktører, som gør sig i projekteringsforløbet, så en deling af modeller vil hvert fald fra start kræve et præcist og

udspecificeret regelsæt. Kan man i midlertidig blive enige om sådanne retningslinjer, så er teknologien til det og med den rette "knowhow" er der vores overbevisning, at det ville være ressourcebesparende i det lange løb.

FEM overførsler

For at få et indblik i hvilket omfang de linkede FEM overførsler fungerede, blev en række tests for henholdsvis Revit Structure til RSA og Tekla Structure til RSA udført. På trods af enkelte mangler, så dannede testene stadig et klart grundlag for, at overføringsfunktionerne godt kunne benyttes i virkeligheden.

Delrapport 2 - Statiske beregninger

Indledning

Følgende statiske beregninger omfatter nybyggeri mellem Strandvejen og Øresund, langs Dessaus Boulevard i Hellerup. Byggeriet hedder Punkthusene og består af tre, 6 etagers bygninger, der ialt vil rumme 11.000 m². Bygningerne skal danne ramme for diverse virksomheder og er således ment til brug som erhvervsudlejning. Der vil i følgende beregninger kun ses på én af de tre bygninger, og denne vil blive udsat for en modificering. Der regnes udover dette ikke på etagerne under terræn, og der ses heller ikke på fundamentet til byggeriet.

Byggeriet er udført som en bjælke søjle model, hvor alle bjælker, både tværgående og langsgående, er udført i stål. De bærende søjler er ligeledes udført i stål og stabiliteten til bygninger opnås fra de to trappeskakter, der er forbundne og placeret i midten af bygningen. Begge trappekerner og bærende vægge er udført i beton. Taget er fladt og består af ståltrapezplader, trykfast isolering og tagpap.

Beregningsforudsætninger

Normer

[1]

EN 1990 DK NA:2007, Nationalt anneks til Eurocode 0: Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner

[2]

EN 1991-1-1 DK NA:2007, Nationalt anneks til Eurocode 1: Last på bygværker – Del 1-1: Generelle laster – Densiteter, egenlast og nyttelast for bygninger

[3]

EN 1991-1-3 DK NA:2007, Nationalt anneks til Eurocode 1: Last på bygværker – Del 1-3: Generelle laster – Snelast

[4]

EN 1991-1-4 DK NA:2007, Nationalt anneks til Eurocode 1: Last på bygværker – Del 1-4: Generelle laster – Vindlast

[5]

EN 1992-1-1 DK NA:2007, Nationalt anneks til Eurocode 2: Betonkonstruktioner – Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner

[6]

EN 1993-1-1 DK NA:2007, Nationalt anneks til Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings

Andet

Der er til den statiske analyse anvendt FEM-programmet Autodesk Robot Structural Analysis. Programmet er hovedsageligt blevet brugt til modelleringen af tagkonstruktionen men også på udvalgte bærende elementer.

Materialer

Hele bygningen kan henføres til konsekvensklasse CC3. Dette medfører at $K_{FI}=1,1$

Kontrolklassen skønnes til normal, hvilket medfører at $\gamma_3=1,0$

Beton

Betondæk sættes i opgaven til at være beton 55⁷ og samtidig til at være præfabrikerede elementer, der giver følgende partialkoefficienter samt styrker:

- Elasticitetsmodul $E_{0k}=36\text{ GPa}$
- Regningsmæssig elasticitetsmodul $E_{0d}=24,5\text{ MPa}$
- Karakteristisk betonstyrke sættes til $f_{ck}=55\text{ MPa}$
- Regningsmæssig betonstyrke $f_{cd}=36\text{ MPa}$

Er der anvendt anden beton i opgaven vil materialeværdier blive vist ved beregningerne.

Stål

Der er som udgangspunkt anvendt stål S235JR, med normal materialekontrol hvilket medfører:

- $\gamma_{M1}=1,2$ Partialkoefficient
- $f_{yk}=235\text{ MPa}$ Karakteristisk flydespænding
- $f_{uk}=360\text{ MPa}$ Karakteristisk trækspænding
- $E_s=210\text{ GPa}$ Elasticitetsmodul
- $f_{yd}=196\text{ MPa}$ Regningsmæssig flydespænding

Er der anvendt andet stål kan materialeværdierne ses ved beregningerne.

Laster

Egenlast

- Stål: $78,5\text{ kN/m}^3$
- Beton: 24 kN/m^3
- Egenvægt dæk: $4,8\text{ kN/m}^2$
- Egenvægt vægge: 24 kN/m
- Gennemgående søjler: $3,9\text{ kN/m}$
- Gulv: $0,2\text{ kN/m}^2$
- Egenvægt tag: $0,81\text{ kN/m}^2$
- Skillevægge $1,5\text{ kN/m}^2$
- Installationer $0,2\text{ kN/m}^2$

⁷ www.betonelement.dk

Nyttelast

Bygningen hører under kategori B der medfører at nyttelasten er:

- $q_k=2,5\text{kN/m}^2$ for kontor

Etagereduktionsfaktoren bestemmes som følgende når det antages at der er kontor på alle etager.

- $\alpha_n=0,6$

Dette giver en karakteristiskfladelast pr etage

- $q_{k\text{kontor}}=1,5\text{kN/m}^2$ for kontor

Vind

Vindlasten er beregnet til følgende værdi jf. bilag 1 - Laster

- $q_p=1,58\text{kN/m}^2$

Sne

Snelasten er beregnet til følgende værdi jf. bilag 1 - Laster

- $s=0.72\text{kN/m}^2$

Lastkombinationer

Lastkombinationer der er anvendt gennem projekteringen kan ses i Tabel 8.

Lastkombinationer	Permanente laster		Nyttelast	Snelast	Vindlast
	Ugunstige	Gunstige			
1) Nyttelast dominerende	1	0,9	$1,5 \cdot \alpha_n \cdot KFI$	$0,45 \cdot KFI$	$0,45 \cdot KFI$
2) Vindlast dominerende	1	0,9	$1,5 \cdot \psi_{0,1} \cdot KFI$	0	$1,5 \cdot KFI$
Konsekvensklasse KFI	1,1				
Etagerreduktion α_n	0,6				
$\psi_{0,1}$ nyttelast	0,3				

Tabel 8
Lastkombinationer

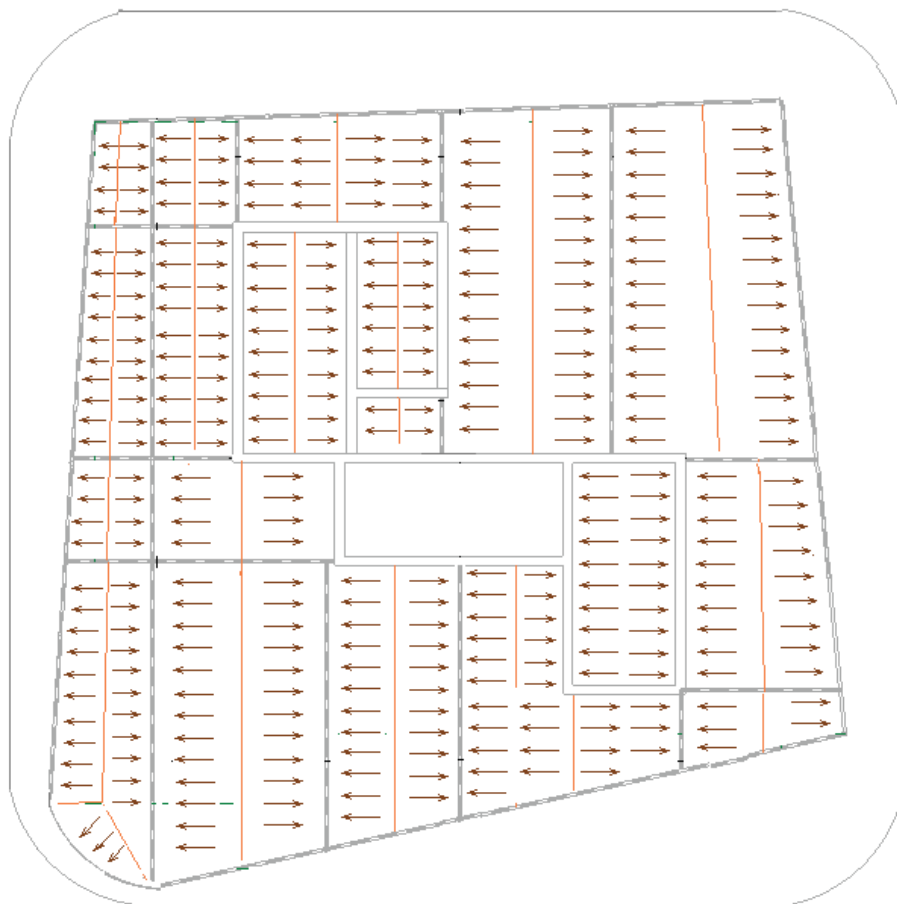
Til den vandrette masselast er følgende lastkombination anvendt:

$$A_d = 1,5\% \left(\sum G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{j,i} \right)$$

Til stabilitetsberegningerne er lastkombination 2 anvendt, hvor vindlasten er dominerende, og hvor de permanente laster virker til gunst i bygningen. Til bæreevnen for vægge ved stueetagen er lastkombination 1 anvendt.

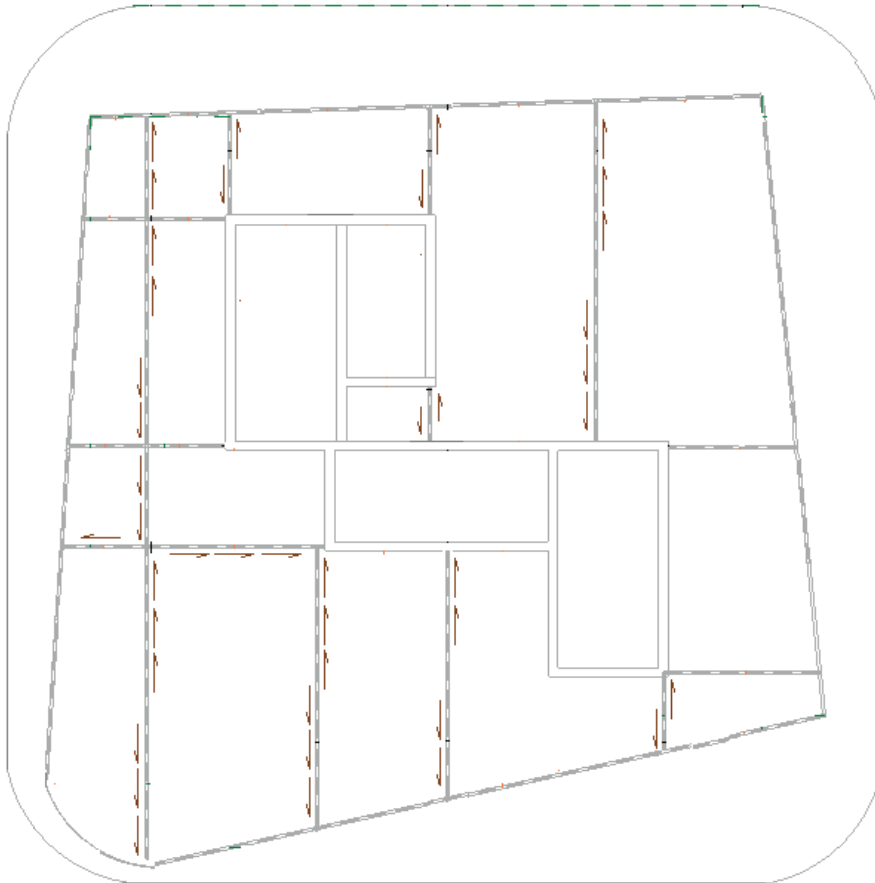
Det bærende system

Det bærende system for konstruktionen følger en traditionel søjle-bjælke opbygning. I Figur 16 ses det hvordan lasten fra henholdsvis sne, tagkonstruktionens opbygning af henholdsvis installationer, trykfastisolering, tagpap og ståltrapez plader fordeler sig til de forskellige bjælker. Lastens bevægelse er markeret med brune pille, mens stålprofilerne er markeret med gråt. Trapezpladerne spænder parallelt med pille retningerne. Indeksering af bærende bjælker og vægge fremgår af afsnittet *Beregninger brudgrænsetilstand/anvendelsesgrænsetilstand*, mens de specifikke spænd, lastandele og linjelaster fremgår af lastansættelsen i afsnittet *lastansættelse 1* i appendixbilagsmappen.



Figur 16
Lastfordelingen i tagkonstruktionen

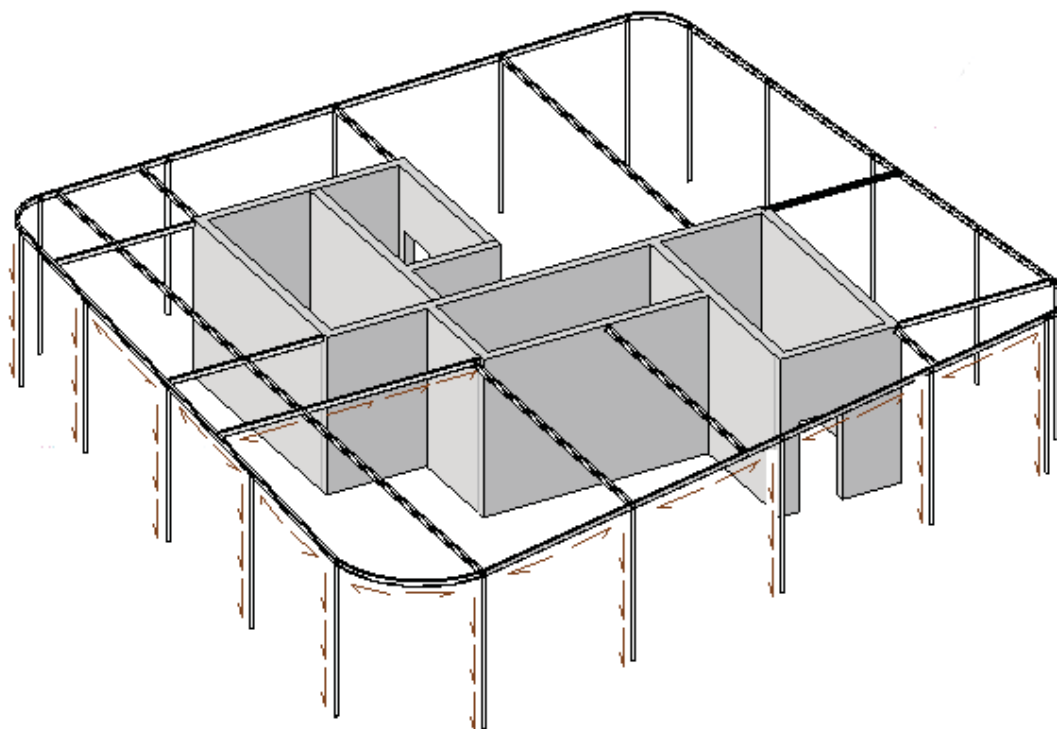
Når de bærende stålbjælker har modtaget lasten fra tagkonstruktionen fordeler lasten sig som illustreret på Figur 17. Lastandelene som optages af betonvæggene føres direkte ned i undergrunden gennem trappekernesystemet.



Figur 17

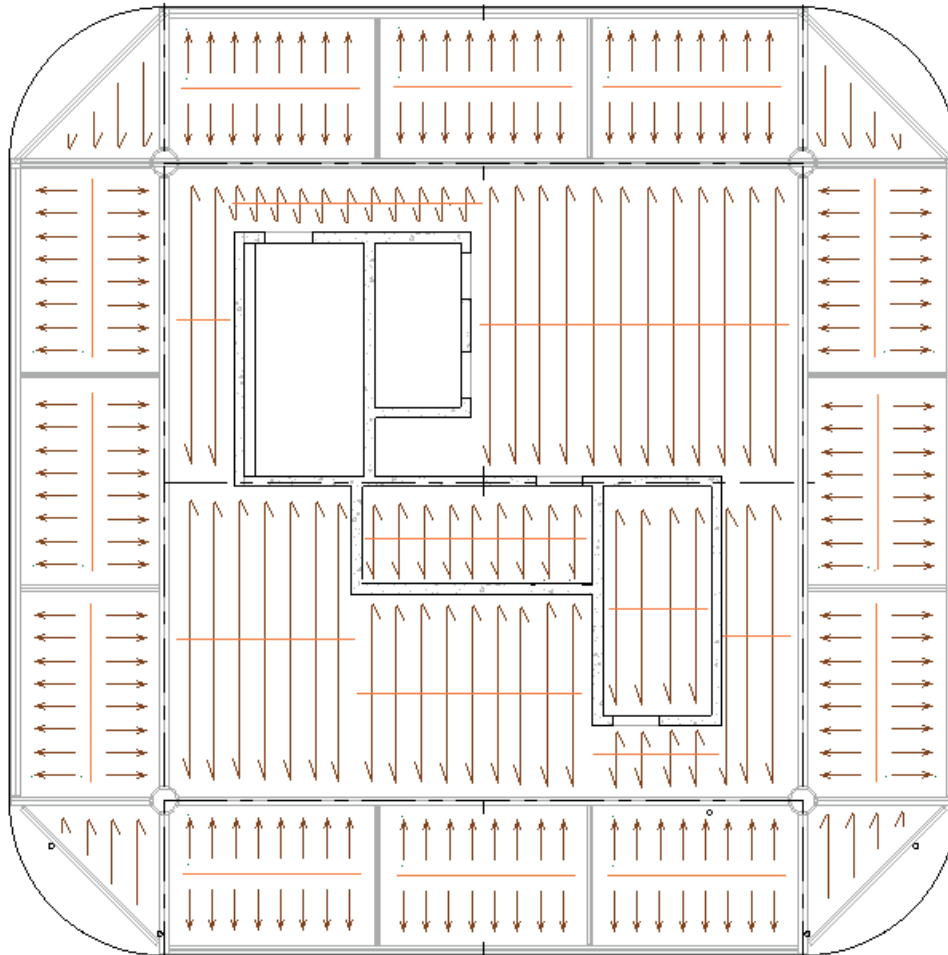
Lastens deling gennem bærende stålprofiler til henholdsvis betonvægge og yderstliggende bjælker

Lasterne fordeles nu via de yderstliggende bjælker til søjlerne og derfra videre mod den underliggende etage. Dette er illustreret på Figur 18.



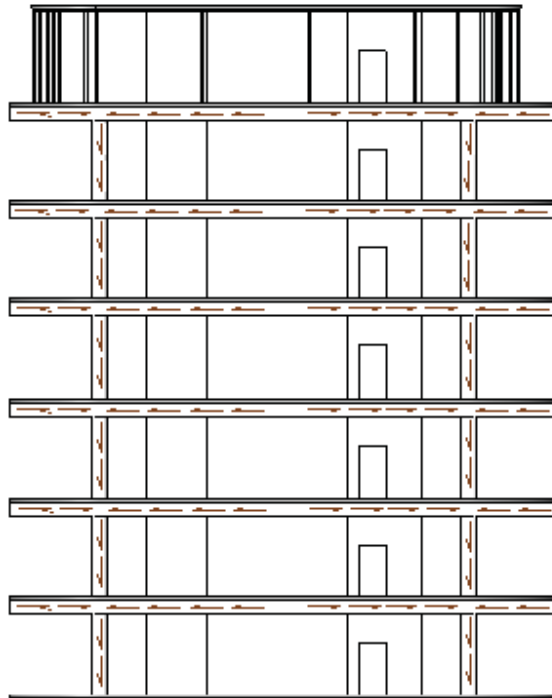
Figur 18
Lastfordeling fra bjælker til søjler.
NB lastnedgangen er kun illustreret på den forreste del af konstruktionen.

Lasterne optaget af søjlerne i tagkonstruktionen resulterer i en række enkeltkræfter fordelt rundt på de underliggende dæk. Enkeltkræfterne fremgår ikke på Figur 19 men ellers er lastens fordeling, som denne gang er forårsaget dels af nyttelast og dels af egenlast fra henholdsvis installationer, dæk, skillevægge og gulv, igen illustreret med brune pile.



Figur 19
Lastfordeling på et af de underlæggende dæk.
NB enkeltkræfter fra tagsøjler er ikke markeret.

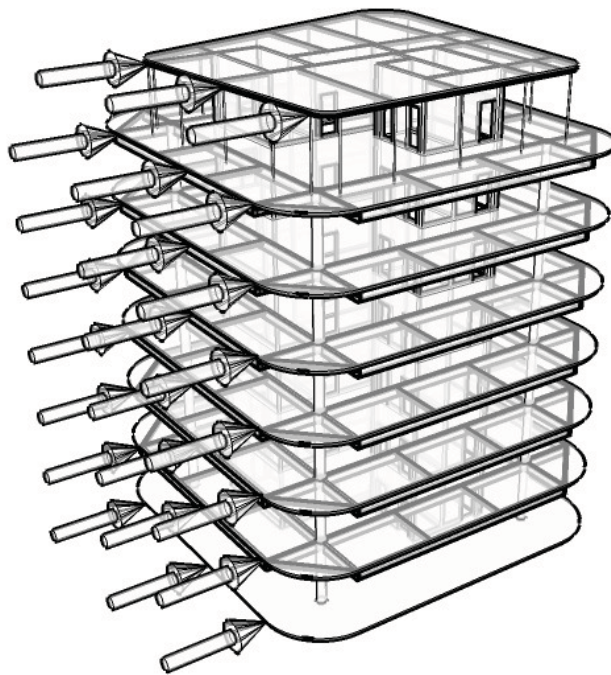
Opsummeres ovenstående resulterer det i en samlet lastnedgang for hele konstruktionen som illustreret på Figur 20. Det ses at de gennemgående stålsøjler opsamler lasterne fra hver etage og fører dem til fundamentet.



Figur 20
Samlet lastnedgang for hele konstruktionen.

Det afstivende system

For at skabe stabilitet for huset er der indført en trappekerne, der skal optage alle vandrette lastpåvirkninger. Kraftoverførslen sker i form af en skivevirkning fra dækkene, da disse overfører vindlasten, som virker på facaderne. Dækkene afleverer kræfterne til trappekernen, og sidstnævnte fører dem videre ned gennem bygningen i form af momenter, forskydnings- og normalkræfter. Når vinden trykker ind på facaden, vil denne overføre lasten i form af en linjelast til hvert dæk. Linjelasten angriber i dækkenes eget plan som illustreret på Figur 21.

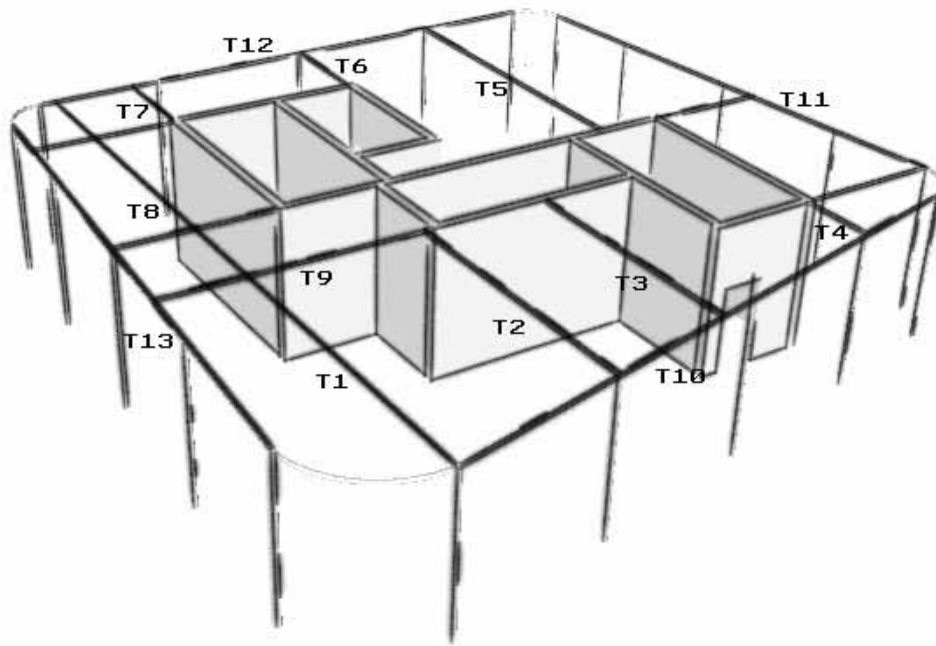


Figur 21
Vandrette kræfter på konstruktionen

Beregninger brudgrænsetilstand/anvendelsesgrænsetilstand

Tagkonstruktion

På Figur 22 er tagkonstruktionen nummereret, hvor hver bjælke er tildelt et T for tag efterfulgt af et nummer. Der vil igennem dimensioneringen af bjælkerne til taget blive refereret til denne nummerering.



Figur 22
Bjælkeinddeling

Dimensionering af bjælker til tag (T1-T9)

For at optimere materialeforbruget til de bærende stålprofiler i tagkonstruktionen, er der udarbejdet et Mathcad beregningsprogram til dette specifikke formål. Dette er at finde i appendixmappens under bilag 5.

I Mathcadarket er der integreret to Excelark med henholdsvis lastansættelse jf. appendixmappens bilag 11 og tværsnitsdata for en række gænge stålprofiler jf. appendixmappens bilag 12. Dette medfører, at hvis ændringer foretages i lastansættelsen, f.eks. pga. tilføjelse af et nedhængt loft eller lignende, så ændres dataene automatisk i beregningsprogrammet. Derudover er Mathcadarket parametrisk opbygget, dvs. at dimensioneringen af række forskellige stålprofiler udføres stort set lige så hurtigt som af en enkelt. Valget af stålprofiltyper er i dette beregningsark begrænset til samtlige HEA og HEB profiler, dette kunne dog udvides, hvis det var ønskværdigt.

Brugen af "dropdown" menuer mm. gør det muligt at ændre inputdata som sikkerhedsklasser, ståltype, profilstørrelse og lignende, hvilket gør materialeoptimeringen hurtig og effektiv. Så i stedet for at finde det hårdest belastede profil og dimensionere samtlige ud fra den, så udføres der en række beregninger, som i stedet resulterer i en række dimensionsklasser. De omtalte bjælker fremgår af Figur 22 og følgende teoretiske bæreevneberegninger gør sig gældende for dem:

Momentbæreevnen beregnes, alt afhængig af tværsnitsklassen af det valgte profil, ud fra følgende formler:

tværsnitsklasse 1 2 3 4

$$\text{Moment } M_{Ed} \quad M_{c.Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{c.Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad M_{c.Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Forskydningsbæreevnen beregnes, alt afhængig om der udføres en plastisk eller elastisk beregning, ud fra følgende formler:

$$\begin{aligned} \text{Forskydningskraft } V_{Ed} \quad & \text{ved plastisk beregning} \quad V_{c.Rd} = V_{pl.Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} \\ & \text{ved elastisk beregning} \quad \tau_{Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} \quad \text{hvor} \quad \tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{I \cdot t} \end{aligned}$$

Den maksimale tilladelige udbøjning for bærende profiler i en tagkonstruktion er spændvidden/150 ifølge afsnittet *Beregningsforudsætninger* [6] og den aktuelle udbøjning udregnes som følgende:

$$\text{Udbøjning} \quad u = \frac{5}{384} \frac{p l^4}{E I_y}$$

Derudover tjekkes profilerne også for foldning af henholdsvis den momentpåvirkede krop på bjælkemidte, den trykpåvirkede flange på bjælkemidte og den forskydningspåvirkede krop ved vederlaget.

Valget af tilladeligt beregningsprincip vurderes ud fra følgende tabel.⁸

Tværsnitsklasse	Snitkraftberegning	Tværsnitberegning
1	Plastisk	Plastisk
2	Elastisk	Plastisk
3	Elastisk	Elastisk
4	Elastisk	Elastisk over effektivt tværsnit

Efter gennemregning af de 8 bjælker i programmet er følgende profiltyper for de respektive grupper valgt:

Gruppe 1

Profil nr.	Spænd [m]	Tværsnit klasse	M _{cR,d} [kNm]	M _{max,d} [kNm]	V _{cR,d} [kN]	V _{max,d} [kN]	Udbøjn [mm]	Udbøj _{max} [mm]	Profil Type
T4	1.9	1	17.7	3.1	92.7	6.5	1.3	12.7	HEA100
T6	2.9	1	17.7	9.6	92.7	13.2	9.4	19.3	HEA100
T7	2.7	1	17.7	6.5	92.7	9.6	5.3	18.0	HEA100

Gruppe2

Profil nr.	Spænd [m]	Tværsnit klasse	M _{cR,d} [kNm]	M _{max,d} [kNm]	V _{cR,d} [kN]	V _{max,d} [kN]	Udbøjn [mm]	Udbøj _{max} [mm]	Profil Type
T2	7.1	1	69.2	45.6	179.0	25.7	37.0	47.0	HEA180
T3	6.4	1	69.2	45.6	179.0	27.7	29.0	43.0	HEA180

Gruppe 3

Profil nr.	Spænd [m]	Tværsnit klasse	M _{cR,d} [kNm]	M _{max,d} [kNm]	V _{cR,d} [kN]	V _{max,d} [kN]	Udbøjn [mm]	Udbøj _{max} [mm]	Profil Type
T1	8.1	1	121.0	56.1	254.5	27.0	27.0	54.0	HEA220
T5	8.7	1	121.0	85.9	254.5	47.6	48.0	58.0	HEA220
T8	10.9	1	121.0	63.0	254.5	57.9	57.0	73.0	HEA220

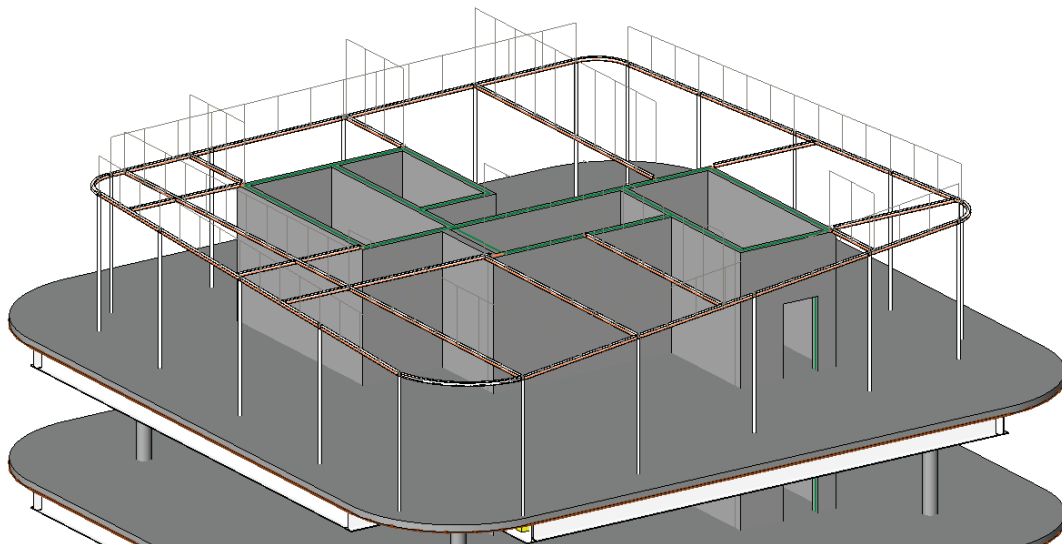
⁸ Teknisk Ståbi side 239

Dimensionering af kantbjælker (T10-T13)

For at dimensionere kantbjælkerne T10-T13 til tagkonstruktionen er det nødvendigt at kende snitkræfterne i bjælkerne. Disse kan findes ved almindelige håndberegninger eller ved hjælp af FEM-programmer. Til kantbjælkerne er der her anvendt RSA for at finde de givne snitkræfter.

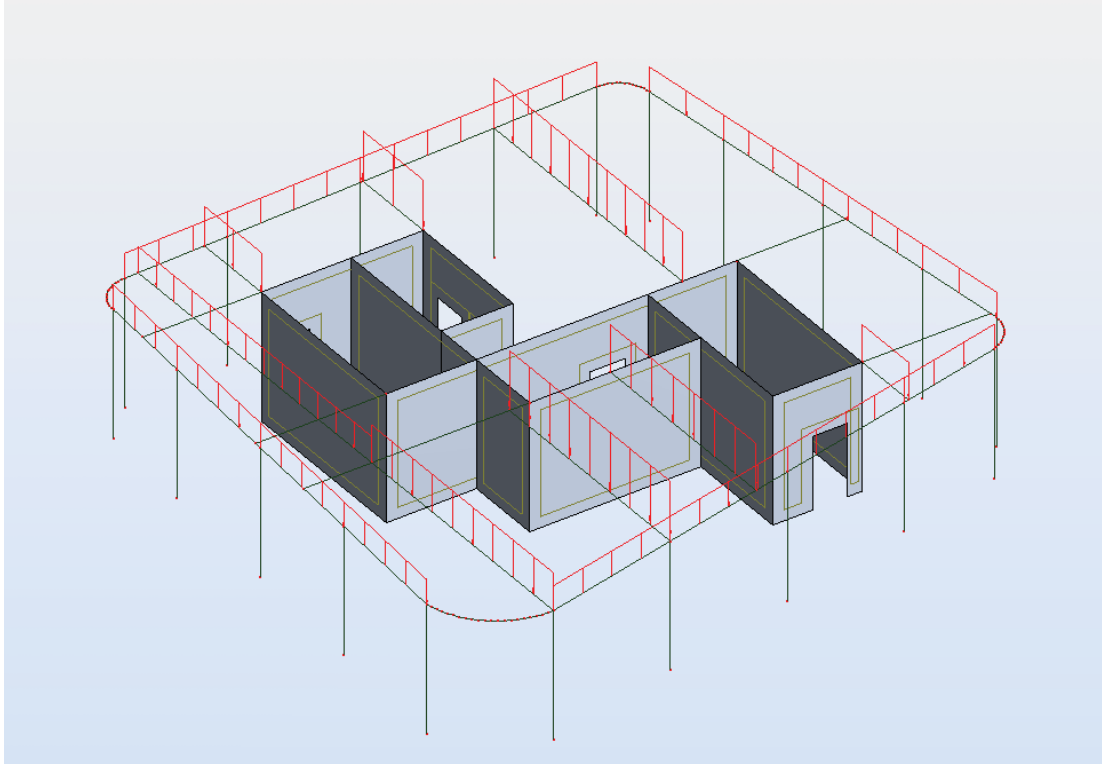
For at slippe for en genmodellering af tagkonstruktionen er denne linket direkte fra BIM-modellen over i RSA.

Laster, understøtningsbetingelser og givne lastkombinationer er ligeledes påsat i Revit. På Figur 23 ses i Revitmodellen hvor linjelaster til bjælkerne er påsat.



Figur 23
Model i Revit

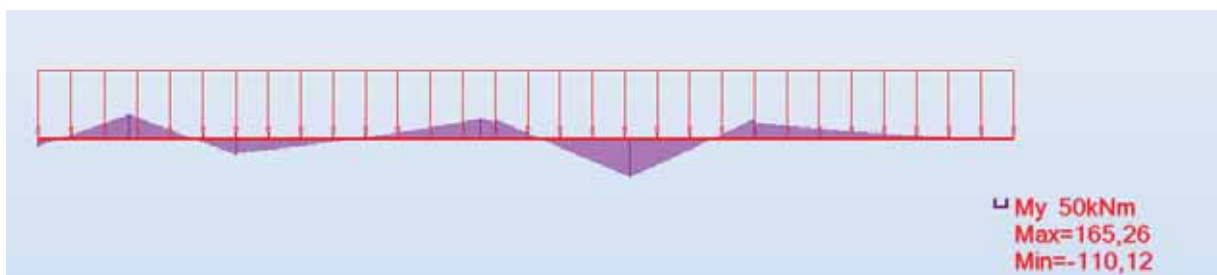
På Figur 24 ses den samme model igen efter den er linket ind i RSA.



Figur 24
Tagkonstruktion i RSA efter overførsel

Hvis der ved overførslen ikke er opstået nogle fejlmeddelelser, kan der med det samme foretages en beregning i RSA. Herefter kan snitkræftkurver for hele eller dele af konstruktionen fremgenereres.

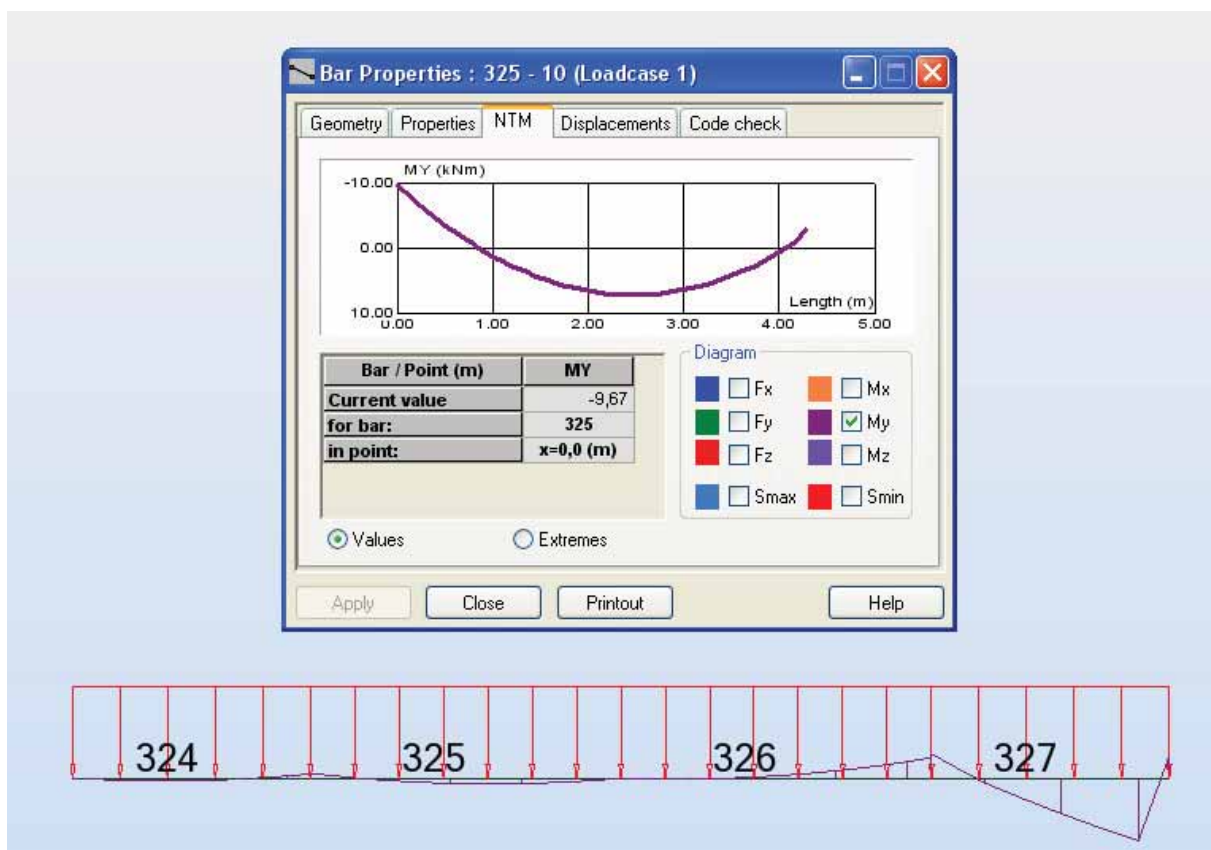
Momentfordelingen for kantbjælke T10 udregnet i RSA fremgår af Figur 25



Figur 25
Momentfordeling

Da standard stålprofiler kun fås op til en given længde er det nødvendigt at benytte to styks her. Ud fra momentfordelingen kan kantbjælke T10 inddeles i to sammenhængende dele, hvor der i samlingen er indsat et charnier. Samlingen foretages derfor et sted hvor momentet er nul.

Grundet den måde der er modelleret på i Revit opdeles kantbjælke T10 i fire delbjælker i RSA, men da disse er tildelt momentstive samlinger fungerer den stadig som en enkelt. For at finde et mere præcis værdi af momentnulpunktets placering er bjælkedel 325 udtaget til analyse og kan ses på Figur 26.



Figur 26
Enkelt bjælkes momentfordeling

For at finde den endelige profilstørrelse for kantbjælke T10 er det nødvendigt at regne to forskellige lastkombinationer igennem. Den første lastkombinationen i brudgrænsetilstanden er, hvor samtlige laster med partialkoefficienter er medtaget for at finde et profil med tilstrækkelig bæreevne. Den anden lastkombination i anvendelsesgrænsetilstanden er, hvor partialkoefficienterne ikke er medtaget og der ses her udelukkende på profilets udbøjning.

Den beregning som kræver det størst nødvendige profil er dimensionsgivende. Anvendes RSA direkte for at finde et profil med tilstrækkelig bæreevne, skal det altid overvejes om dette profil er det korrekte valg. Dette skyldes at RSA ikke anvender en plastisk spændingsfordeling, men altid regner lineærelastisk. Snitkræfterne er her udtaget fra modellen, og en videre håndberegning er udført for at finde den endelige dimension. Som kontrol er håndberegningerne sammenlignet med RSA's valg. Udbøjningen er i dette tilfælde taget direkte fra RSA, men der er foretaget tjekanalyser undervejs på de givne resultater.

De to beregninger, som kan ses i appendixmappens bilag nr.3, giver følgende resultater:

- Brudgrænsetilstand: HEA 180
- Anvendelsesgrænsetilstand: HEA 180 giver acceptabel nedbøjning

Det valgte profil bliver således HEA 180. Dette profil kan vælges inde fra RSA og via det dynamiske link kan rettelserne overføres tilbage til Revit modellen. Samme procedure benyttes på de resterende kantprofiler for at finde momentnulpunkterne mht. samlingerne. Her viser det sig også, at HEA 180 profilet overholder kravene.

Dimensionering af stålsøjler

Stålsøjlerne, som skal videreføre lasterne fra tagkonstruktionen til de underliggende dæk, er af udførelsesmæssige hensyn alle af samme dimension. Den hårdest belastede søjle er udtaget til beregning, og dimensionen for denne er gældende for resten af søjlerne.

Til dimensionering af stålsøjlerne er der anvendt samme metode som til kantbjælkerne til taget. Modellen fra Revit er igen via linkning overført til RSA, hvor det dog denne gang er de lodrette kræfter i søjlerne, der er fundet.

Den største reaktion fundet i RSA er:

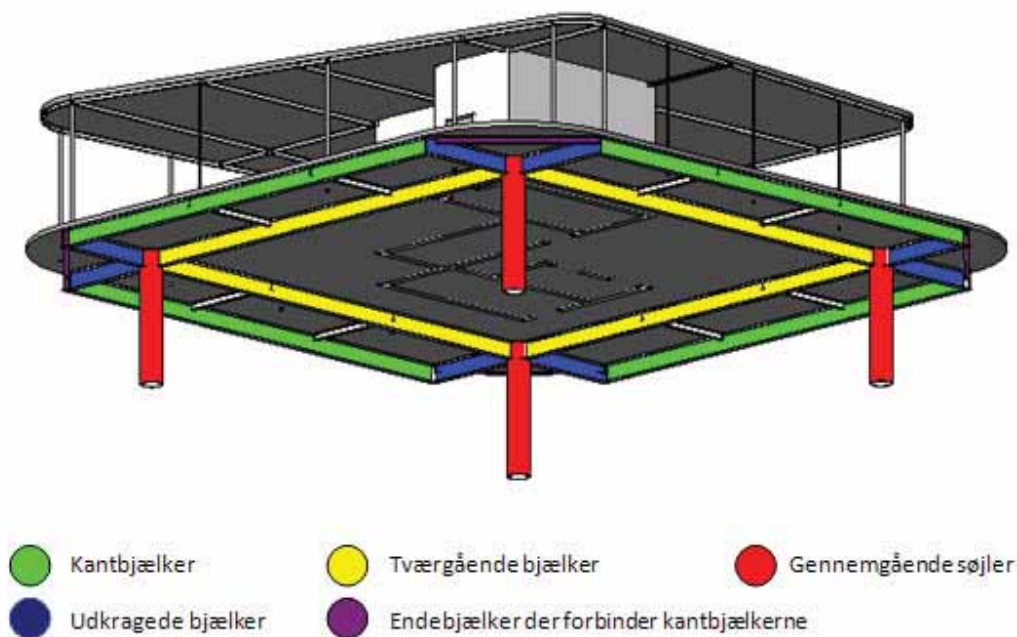
- $R_{max}=70,5\text{kN}$

Denne reaktion bruges til håndberegningerne, som kan ses i appendixmappens bilag nr. 4. Dette giver et tværsnit på:

- Cirkulært svejstprofil med størrelsen (DIN 2458) 114,3 der giver en bæreevne på
- $N_{bRd}=106\text{kN}$

6.etage

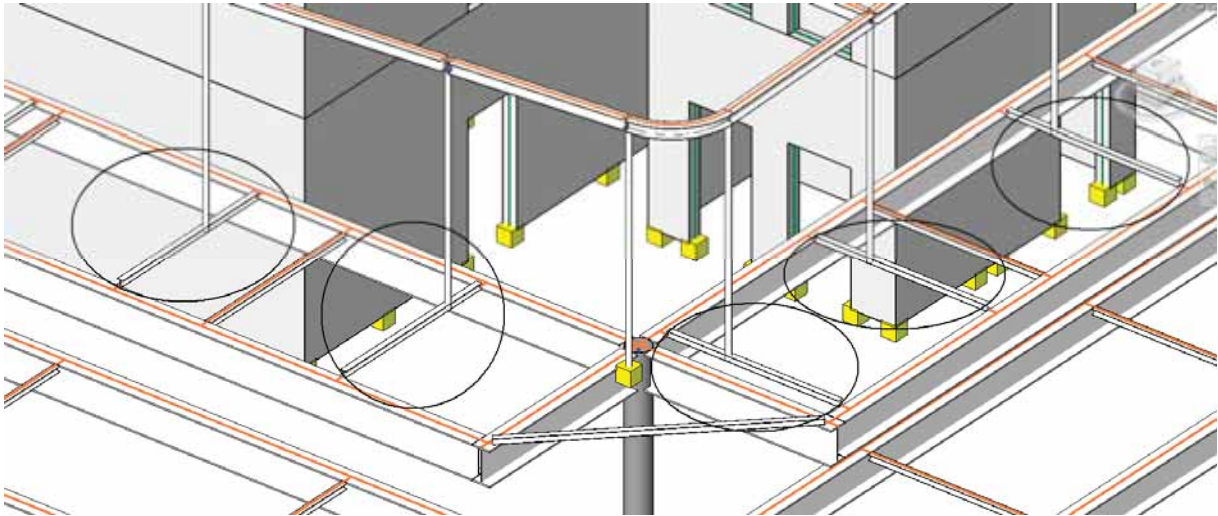
Til dimensionering af det bærende etagebjælkesystem er 6.etage udtaget til analyse. Af monteringsmæssige hensyn vil denne danne grundlag for de resterende underliggende etager. For at skildne mellem de forskellige profiler er der benyttet en farveindeksering som illustreret i Figur 27. Farveindeksering gør sig ligeledes gældende i appendixmappens bilag 11 lastansættelse1.



Figur 27
Indeksering af bjælker

Fremgangsmåden til at beregne dimensionerne på bjælkerne og søjlerne på 6.etage er stort set den samme som i afsnittet *Tagkonstruktion*. Igen linkes modellen ind i RSA, men denne gang tilføjes et antal hjælpebjælker som illustreret på Figur 28 for at kunne videreføre søjlekræfterne fra tagkonstruktionen til tværgåendebjælker og kantbjælker.

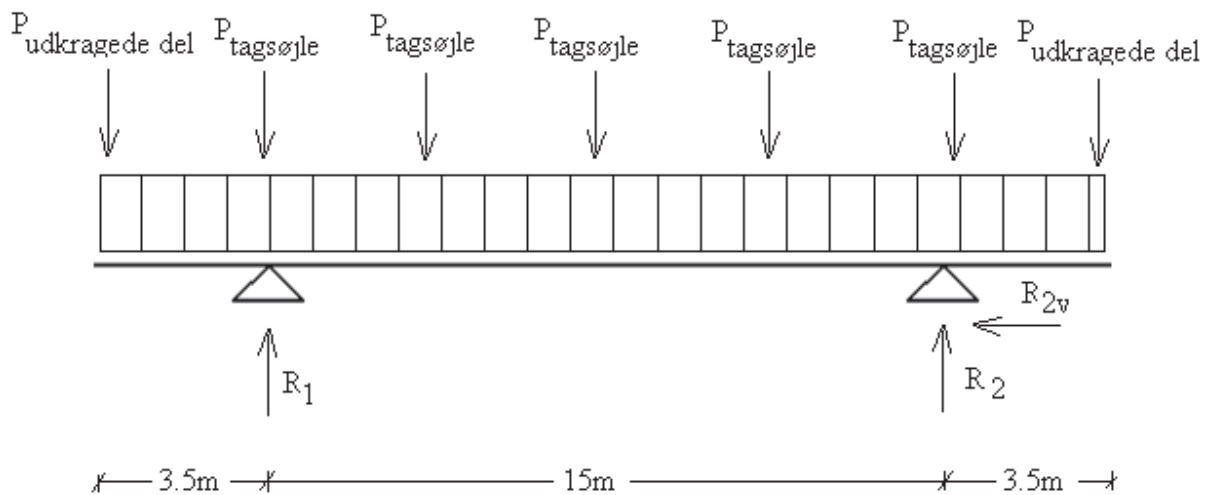
Dette er en forudsætning for at få lasterne overført korrekt fra søjlerne og ud til bjælkerne, da RSA ikke formår at tolke informationer på enkeltspændte dæk fra Revit korrekt. Disse hjælpebjælker er efterfølgende slettet fra BIM-modellen igen.



Figur 28
Hjælpebjælker

Statisk model for hhv. udkragede stålbjælker og tværgående bjælker.

Princippet i den statiske model for de bærende bjælker og de gennemgående søjler er skitseret på Figur 29.



Figur 29
Statisk model

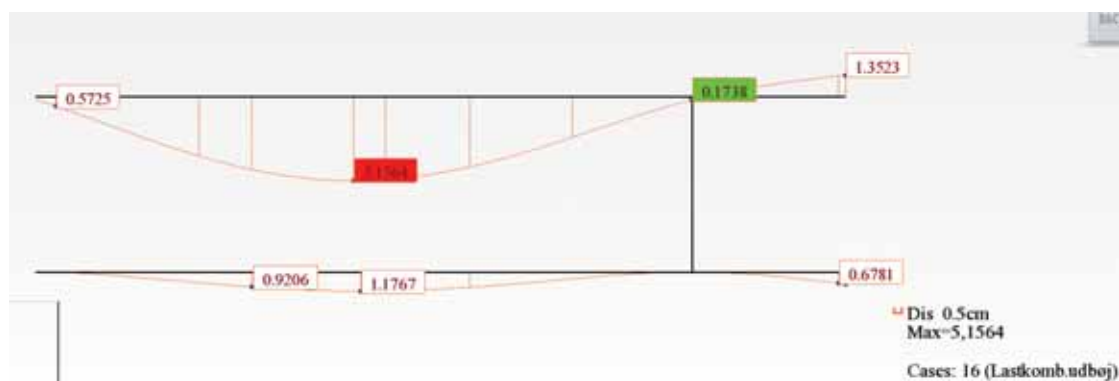
Valget af den statiske model er lagt til grund mht. at fjerne momenterne i de gennemgående søjler, da disse ved ovenstående statiske model kun bliver udsat for en normalkraft.

Udkragede stålbjælker

Anvendelsesgrænsetilstanden giver en maksimal deformation af de udkragede bjælker på 135mm. Dette kan ses på Figur 30.

$$U_{tilladelig} = \frac{3500mm}{400} = 8,75mm$$

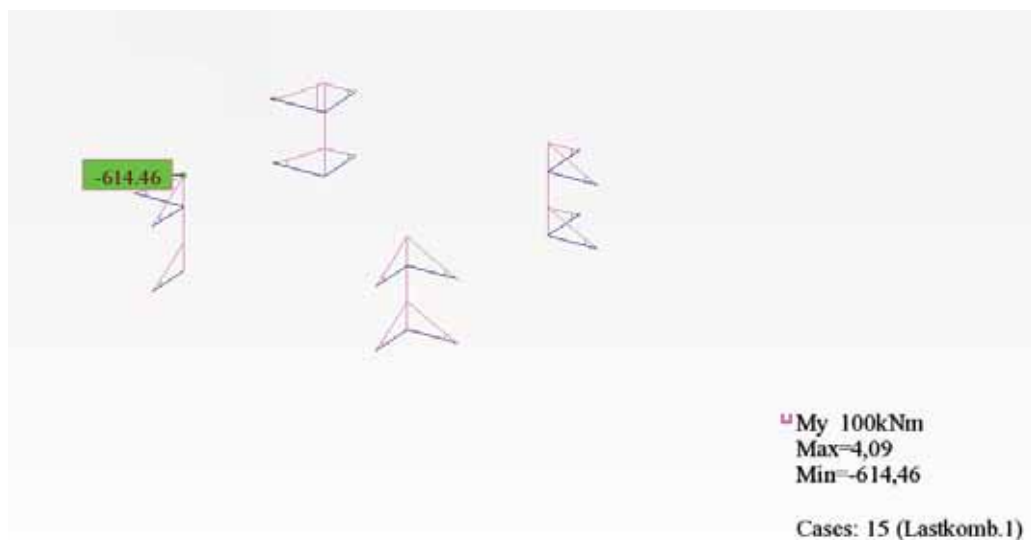
Udbøjningen er altså større end det tilladelige, og det er derfor nødvendigt at vælge et større profil og efterfølgende kontrollere udbøjningen igen.



Figur 30

Udbøjning for tværgående bjælker og udkragede bjælker. Målene er på figuren angivet i cm.

I brudgrænsetilstanden anvendes det maksimale moment på 614 kNm til de videre håndberegninger. Momenterne kan ses på Figur 31.



Figur 31

Momenter i udkragede bjælker i brudgrænsetilstanden

Det nødvendige profil skal i brudgrænsetilstanden vælges til et der er større eller lig med et HEA 500 ifølge håndberegninger, som kan ses i appendixmappens bilag nr. 6. Dette betyder, at det er anvendelsesgrænsetilstanden, der er dimensionsgivende for de udkragede bjælker, da der i RSA er anvendt profilstørrelses HEA600, hvilket gav for stor udbøjning. Iterationsprocessen gennemføres igen med et HEA650 profil, som overholder kravene.

Tværgående stålbjælker

Anvendelsesgrænsetilstanden

De maksimale udbøjninger kan ses på Figur 30.

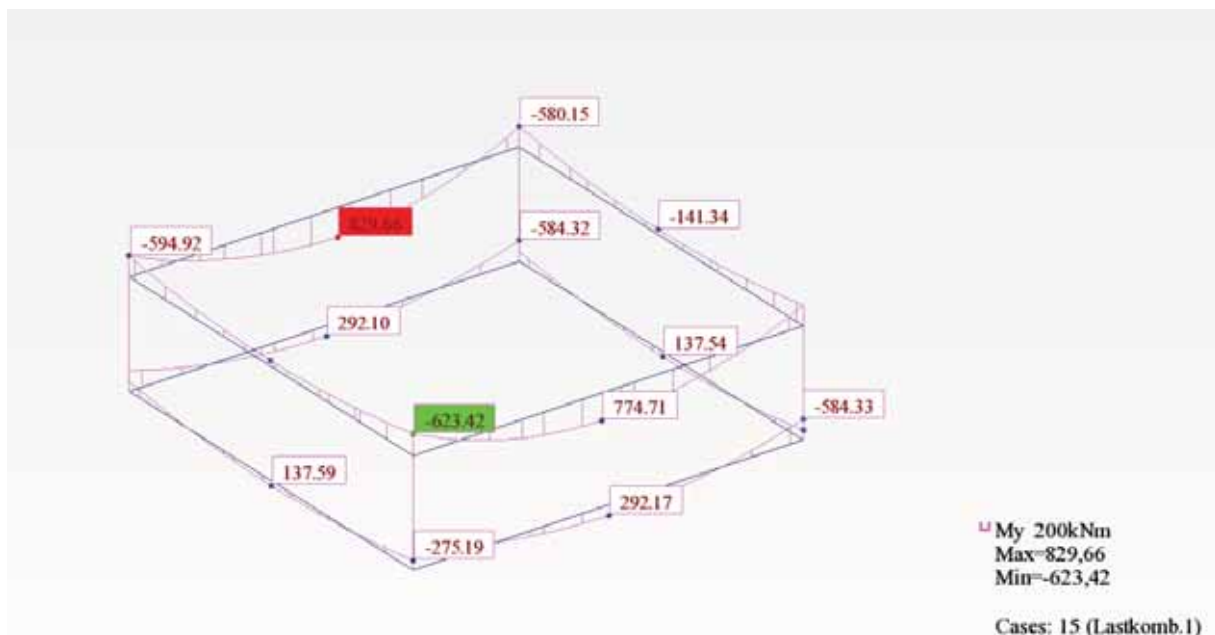
$$U_{max} = 51,5mm$$

$$U_{tilladelig} = \frac{15000mm}{400} = 37,5mm$$

Igen er det nødvendigt at vælge et større profil og derefter kontrollere udbøjningen.

Brudgrænsetilstanden

De maksimale momenter er igen fundet ud fra lastkombinationen i brudgrænsetilstanden og det moment, der skal dimensioneres efter er 829kNm, som illustreret i Figur 32. Ud fra håndberegninger kan der vælges et profil, som er større eller lig profilet af typen HEA600. Dette resulterer igen i, at det er anvendelsesgrænsetilstanden, som er dimensionsgivende.



Figur 32
Maksimale momenter brudgrænsetilstand

Kantbjælke

Anvendelsesgrænsetilstand

Fremgangsmåde som i ovenstående beregninger.

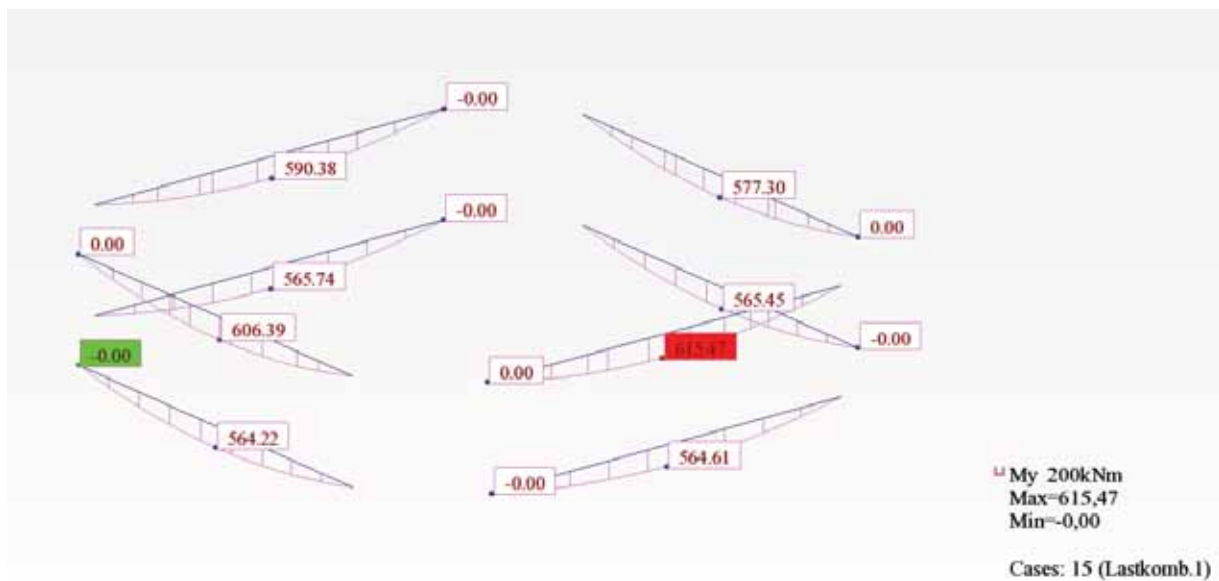
$$U_{max} = 54mm$$

$$U_{tilladelig} = \frac{15000mm}{400} = 37,5mm$$

Brudgrænsetilstand

Fremgangsmåde som i ovenstående beregninger.

- Moment der skal dimensioneres for: 615kNm se Figur 33
- Håndberegninger giver en nødvendigt profil af typen: HEA500 eller større
- Anvendelsesgrænsetilstand er dimensionsgivende
- Endelig valg HEA 650 profil



Figur 33
Momentkruser for kantbjælker

Gennemgående stålsøjler

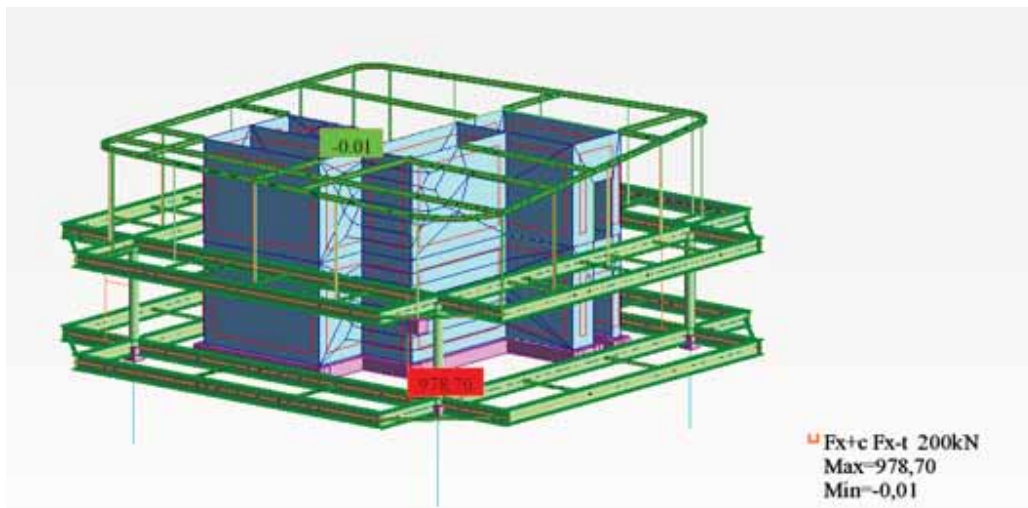
Til de gennemgående søjler er den maksimale stangkræft i søjlen fundet til 978.7kN jf. Figur 34. Da der skal dimensioneres efter stangkræfterne i søjlerne på nederste etage opsummeres kræfterne fra tagetagen og nedad jf. nedenstående formel.

$$Stangkræft_{endelig} = S_{5.etage} + (Reaktion_{5.etage} - S_{5.etage}) \cdot 5$$

Reaktionen på 5.etage er fundet i RSA til 1611kN hvilket giver en endelig stangkræft i nederste søjle på

- $Stangkræft_{endelig} = 4143\text{kN}$

Denne stangkræft giver et nødvendig profil af typen (DIN 2458) 914 for søjlerne. Beregningerne kan ses i appendixmappens bilag nr.7



Figur 34
Maksimal stangkræft i søjle

Huldæk

Generelt

Til dæk benyttes standart præfabrikerede betonelementer. Dækkene dimensioneres efter tabelopslag fra leverandørens hjemmeside i det her tilfælde www.betonelement.dk. En sådan dimensionering giver ikke direkte anledning til beregninger for at finde frem til de korrekte dimensioner, men ikke desto mindre er der stadig en del problemstillinger, der skal tages højde.

Beregninger fra leverandørens side i brudgrænsetilstanden er udført i henhold til DS 411. Dette kunne godt gå hen og blive et problem senere da alle beregninger på nuværende tidspunkt skal regnes efter Eurocodes. Der er her valgt at se bort fra det aspekt.

Beregningerne er baseret på, at dækkene er henført til normal sikkerhedsklasse og samtidig er moment – og forskydningsbæreevne samt forspænding beregnet af leverandøren ud fra følgende tværsnits- og materiale data:

Betonværdier

Karakteristisk trykstyrke 55,0 MPa	Regningsmæssig trykstyrke 35,0 MPa
Karakteristisk trækstyrke 2,3 MPa	Karakteristisk bøjningstrækstyrke 4,6 MPa
Karakteristisk trækstyrke 1770 MPa	Regningsmæssig brudstyrke 1433 MPa
Initial forspænding 1150/1050 MPa	Effektiv forspænding 1030/930 MPa
Tøjning ved effektiv spænding 5,0 ‰	Tværsnitsareal 1/2" kabel 93,0 mm ²
Tværsnitsareal 3/8" kabel 52,0 mm ²	

Dimensionering 1.-5. etage

Betondækkene for 1. til 5. etage dimensioneres for en egenvægt fra nyttelast, installationer, skillevægge samt den gulvbelægning, der tænkes udført på etagerne. På 6. etage er der udover nyttelast og egenlast ydermere en punktlast hidrørende tagkonstruktionens søjler. Denne punktlast gør det nødvendigt at medtage gennemlokningsstyrken for det enkelte element. Der ses derfor i første omgang på dækkene fra 1. til 5. etage, hvor dækkene kun er belastet med fladelaster. Dækket med det største spænd er dimensionsgivende for de resterende dæk.

I Tabel 9 er de laster som dækkene fra 1. til 5. etage skal bære opsummeret. Det ses at den samlede last er på 5,4 kN/m². Den permanente last, som udgøres af installationer, gulvkonstruktion samt skillevægge, danner grundlag for udbøjningslasten i anvendelsesgrænsetilstanden og er i dette tilfælde 1,8 kN/m².

Belastningsdel	Karakteristisk fordelt belastning [kN/m ²]	Regningsmæssig fordelt belastning [kN/m ²]
Installationer	0,1	0,1
Gulvkonstruktion	0,2	0,2
Skillevægge	1,5	1,5
Nyttelast	2,5	3,6
I alt	4,3	5,4

Tabel 9
Laster virkende på betondæk

I Tabel 10 ses et udsnit af en bæreevnetabel for et dæk af typen PE180. Her er værdierne for det valgte dæk med en given armering markeret med rød, og følgende værdier er gældende for det valgte dæk.

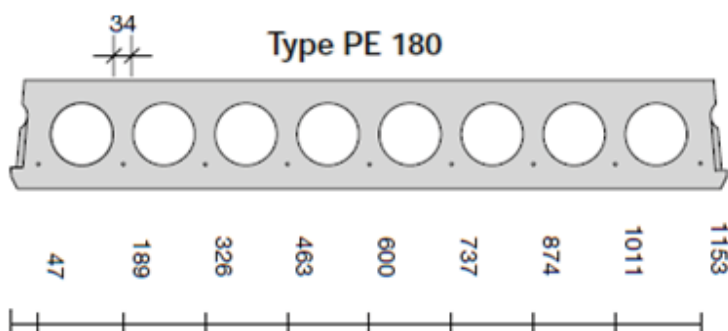
Bæreevnetabel PE 180

1/2"	3/8"	PE180 Spændv.(m)			4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	9,0	9,6	10,2	10,8
4	5	Mud	108,9	q _{ud}	38,2	28,5	21,9	17,2	13,7	11,0	8,9	7,3	6,0	4,9	4,0	3,2
		Mrev	86,2	q _{rev}	29,6	21,9	16,7	13,0	10,2	8,1	6,4	5,1	4,1	3,2	2,5	1,9
		Mbal	39,2	q _{bal}	11,8	8,3	6,0	4,3	3,0	2,0	1,3	0,7	0,2	-0,2	-0,5	-0,8
		MBS60	111,1	q _{mBS60}	39,0	29,1	22,4	17,6	14,0	11,3	9,2	7,5	6,1	5,0	4,1	3,4
		VkBS60	52,5	q _{vBS60}	17,8	15,2	13,2	11,6	10,3	9,2	8,2	7,4	6,7	6,1	5,6	5,1
		Vud	70,0	q _{vud}	24,8	21,3	18,6	16,4	14,7	13,2	12,0	10,9	10,0	9,2	8,4	7,8

Tabel 10
Bæreevnetabel

Bæreevne for PE 180 med 4stk. 1/2" wirer og 5stk. 3/8" wirer. Typen kan ses på Figur 35.

- $M_{ud} = 8,9 \frac{kN}{m^2}$
- $M_{rev} = 6,4 \frac{kN}{m^2}$
- $M_{bal} = 1,3 \frac{kN}{m^2}$
- $M_{bs60} = 9,2 \frac{kN}{m^2}$
- $V_{kbs60} = 8,2 \frac{kN}{m^2}$
- $V_d = 12,0 \frac{kN}{m^2}$



Figur 35
Dæktype

Der ses i første omgang på bæreevnen for brudmomentet, som i dette tilfælde ikke resulterer i nogle problemer, da der bliver en bæreevnereserve på 3,5kN/m². Dette vil sige at dækket har tilstrækkelig bæreevne i brudgrænsetilstanden.

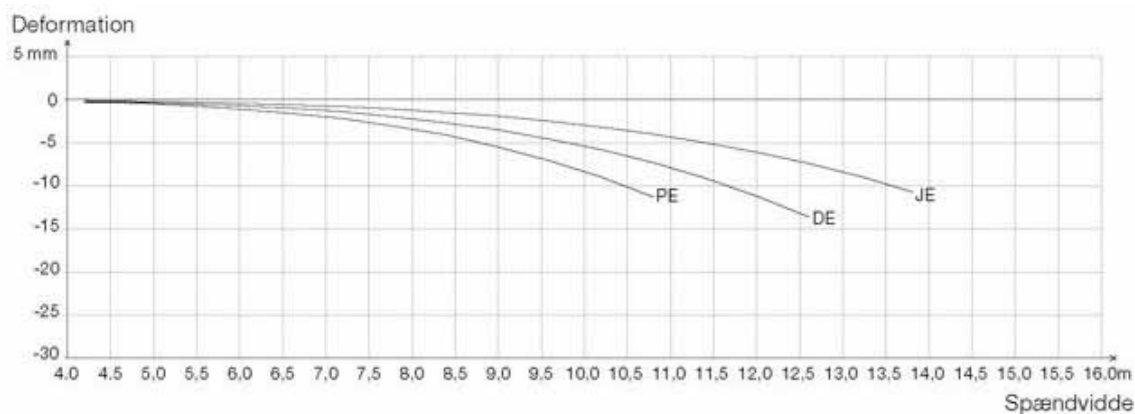
Der skal ydermere tjekkes for udbøjningen i anvendelsesgrænsetilstanden, hvor der ses på den karakteristiske balancelast. Dette svarer til den last, der skal påføres dækket for sammen med dækkets egenvægt at give en nedadgående bevægelse af plademidten, der er lige så stor, som den opadgående bevægelse hidrørende fra forspændingsmomentet.

Den hvilende last er som tidligere nævnt 1,8kN/m² hvilket er lidt højere end det balancerede moment. Dette vil sige, at dækket med tiden vil få en udbøjning i nedadgående retning. Udbøjningen er fundet ud fra grafiske tabeller fra leverandørens hjemmeside med en fladelast på 1kN/m². Udbøjningen for et dæk af typen PE 180 kan ses på Figur 36 og bliver i dette tilfælde.

$$U_{max} = 1,8 \frac{kN}{m^2} \cdot -3,5 \frac{mm}{\frac{kN}{m^2}} = -6,3mm$$

Hvilket er under det tilladelige på

$$U_{tilladelig} = -\frac{l}{400} = \frac{7500mm}{400} = -18,75mm$$



Figur 36
Udbøjning for huldæk

Dimensionering 6. etage

Der tages derfor udgangspunkt i typen JE, som ud overover en fordelt belastning kan optage en enkeltkraft på op til 80 kN⁹. Da den maksimale reaktion for søjlerne er på 70 kN er kravet for gennemlokning overholdt. Mht. udbøjning fordeles enkeltkraften på 70 kN ud over hele betondækket og der opnås derved en fladelast, der gør at bæreevnetabellerne igen kan anvendes. Den ekstra fladelast forårsaget af søjlekraften beregnes som følgende:

$$q_{ekstra} = \frac{70 \text{ kN}}{1,2 \text{ m} \cdot 3,5 \text{ m}} = 16,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Dvs. den resulterende fladelast på de respektive dæk bliver:

$$q_{total} = q_{ekstra} + q_{5. etage} = 16,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 5,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 22,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Af Tabel 11 ses det, at hvis der vælges et element af typen JE 265 med 6 stk. 1/2" wirer, så opnås et balanceret moment på 20,5 kN/m². Udbøjningen kontrolleres igen efter samme fremgangsmåde som tidligere.

Bæreevnetabel JE 265

1/2"	3/8"	JE265 Spændv.(m)			4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	9,0	9,6	10,2	10,8	11,4	12,0	12,6	13,2	13,8	14,4	15,0	
2	4	Mud	122,6	q. ud	42,7	31,8	24,4	19,1	15,1	12,1	9,8	7,9	6,4	5,2	4,2									
		Mrev	118,4	q. rev	41,1	30,6	23,4	18,3	14,5	11,6	9,3	7,5	6,1	4,9	3,9									
		Mbal	45,0	q. bal	13,4	9,4	6,6	4,7	3,2	2,1	1,3	0,6	0,1	-0,4	-0,8									
		M BS60	117,5	q.mBS60	40,8	30,3	23,2	18,1	14,3	11,5	9,2	7,5	6,0	4,8	3,9									
		Vk BS60	58,5	q.vBS60	19,6	16,7	14,4	12,6	11,1	9,9	8,9	8,0	7,2	6,5	5,9									
		Vud	78,0	q. vud	27,3	23,4	20,4	18,0	16,0	14,4	13,0	11,8	10,8	9,9	9,1									
6	0	Mud	170,6	q. ud	60,8	45,7	35,4	27,9	22,5	18,3	15,0	12,5	10,4	8,7	7,3	6,1	5,1	4,2						
		Mrev	145,0	q. rev	51,1	38,3	29,5	23,2	18,5	15,0	12,2	10,0	8,3	6,8	5,6	4,6	3,8	3,1						
		Mbal	63,8	q. bal	20,5	14,8	10,9	8,2	6,1	4,6	3,3	2,4	1,6	1,0	0,4	0,0	-0,4	-0,7						
		M BS60	165,1	q.mBS60	58,7	44,1	34,1	26,9	21,6	17,6	14,4	11,9	9,9	8,3	6,9	5,8	4,8	4,0						
		Vk BS60	66,0	q.vBS60	22,5	19,3	16,7	14,7	13,0	11,6	10,5	9,4	8,6	7,8	7,1	6,5	6,0	5,5						
		Vud	88,0	q. vud	31,3	26,9	23,5	20,8	18,6	16,7	15,2	13,8	12,6	11,6	10,7	9,9	9,2	8,6						

Tabel 11
Bæreevnetabel for JE 265

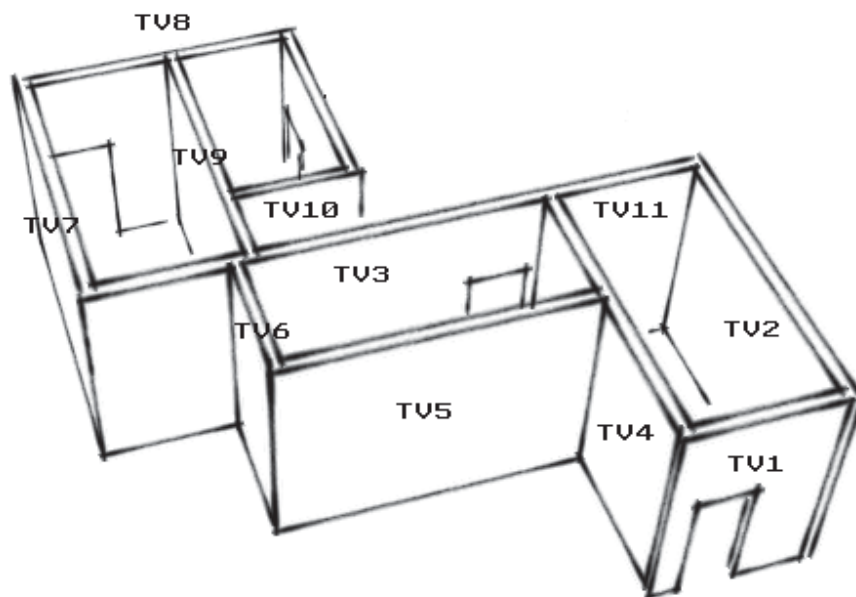
På Figur 36 ses det, at udbøjningen for huldækket bliver tæt på 0mm da spændvidden ikke er større end 3,5 m. Der opstår således ikke noget problem med udbøjningen for det valgte dæk.

⁹ <http://betonelement.dk/daek.aspx>

Stabilitet

Til beregning af vandrette kræfter i bygningen er der anvendt dæksskivefordelingsmetoden.¹⁰ Metoden giver fordelingen af de vandrette laster i hver enkelt væg ved en given linjelast på dæksskiverne.

Nedenstående skitse anvendes til beregningerne stabilitet. Her anvendes følgende nummerering, hvor vægge med dørhuller er delt op i to separate skiver, eller der er set helt bort fra stabilitetsvirkningen herfra.



Figur 37
Inddeling af vægge

Fremgangsmåden for at beregne hvor stor andel af vandrette kræfter, der skal optages i hver enkelt væg går på en fordeling efter stivheder i det samlede vægssystem. I appendixmappens bilag nr.2 er der udarbejdet et Mathcad beregningsark der benytter denne specifikke metode, og resultatet deraf er indsat direkte i rapporten jf. Tabel 12 .

Arbejdsgangen i dæksskivefordelingsmetoden kan opdeles i følgende faser:

Fase 1

Et koordinatsystem indlægges og vægsystemet opdeles i et antal vægge, hvor hver enkelt delvægs inertimoment om hhv. x - og y-aksen findes. Der udvælges et referenceinertimoment for at simplificere beregningerne på længere sigt, og vægsystemets samlede stivheder om hhv. x- og y-aksen findes.

¹⁰ Se litteratur[3]

Fase 2

Forskydningscentrum for hele vægsystemet findes. Forskydningscentrummet er det punkt, som det samlede vægsystem vil dreje om ved den givne vandrette last.

Fase 3

Vægsystemets samlede vridningsstivhed findes. Vridningsstivheden indikerer hvor modstandsdygtigt vægsystemet er for rotation.

Fase 4

De enkelte vægges andel af den samlede vandrette last for hhv. x- og y-retning bestemmes. Kraften i hver væg bliver således en sum af den direkte vandrette last samt et tillæg fra vridningen omkring forskydningscentrum. En opsummering af den procentvise fordeling af kræfterne i væggene fremgår af Tabel 12.

Væg	x-retning [%]	y-retning [%]
1	0,9	0
2	0,1	25,2
3	53,0	0
4	0,1	24,8
5	32,5	0
6	0	2,1
7	0,1	23,8
8	7,9	0
9	0,1	23,9
10	1,9	0
11	3,8	0
Sum:	100,4	99,8

Tabel 12
Procentvis fordeling af vandrette kræfter

Det ses af Tabel 12 at for x-retningen tager væg 3 over 50 % af den samlede vandrette last samt, at der i y-retningen sker en stort set ligelig fordeling af kræfterne på væg 2, 4, 7 og 9.

Formlerne til at finde snitkræfterne i væggen kan ses i Figur 38. Her ses det, at snitkræfterne er en sum af to led, hvor det første kaldes "forskydningsbidraget" og hidrører fra dæksskivens translation(forskydning) i kraftens retning, og det andet kaldes "drejningsbidraget" og kommer fra dæksskivens drejning om det fundne forskydningscentrum.

$$Q_x^i = \alpha_i^x \cdot \frac{P}{\sum \alpha_i^x} - \alpha_i^x \cdot (y_i - y_F) \cdot \frac{M_F}{C_{ZF}/C_O}$$

$$Q_y^i = \alpha_i^y \cdot \frac{P}{\sum \alpha_i^y} + \alpha_i^y \cdot (x_i - x_F) \cdot \frac{M_F}{C_{ZF}/C_O}$$

$$M_z^i = \alpha_i^z \cdot H^2 \cdot \frac{M_F}{C_{ZF}/C_O}$$

Figur 38
Formler til stabilitets beregning¹¹

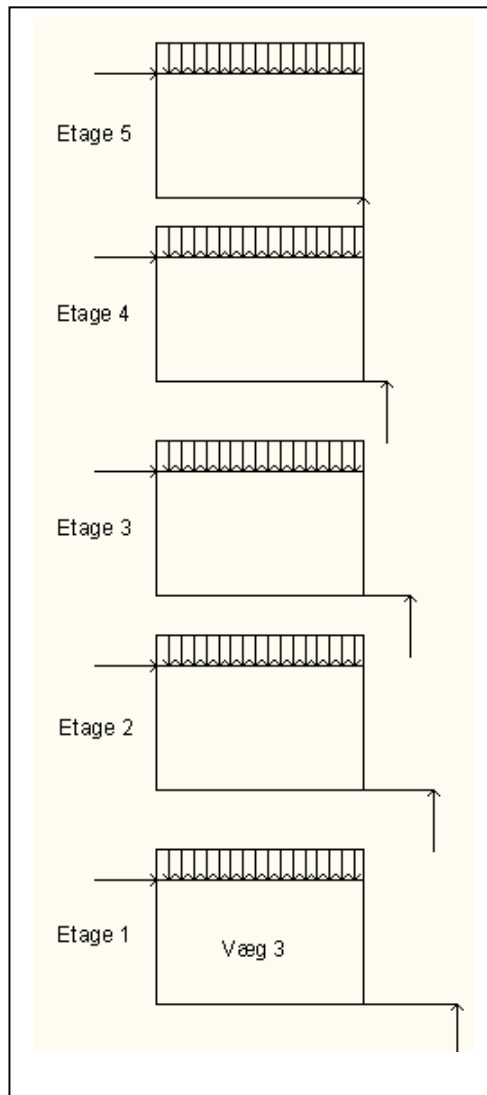
Det skal nu eftervises at det væltende moment, der fremkommer fra vinden i hver enkelt væg er mindre end det stabiliserende moment, som den lodrette last bidrager med. Ud fra dette ses der på om den lodrette reaktion falder uden for væggens længde, og i så fald vil det være nødvendigt at forankre væggen. Beregninger er opbygget således, at Mathcadarket henter værdier fra et Excelark jf. appendixmappens bilag nr. 11. Derudover er det opbygget således, at det er muligt at indtaste den etage hvor væggen ønskes undersøgt. Resultaterne for væg 3 er afbildet på Figur 39.

Stabilitet væg 3								
Etage	Normalkraft [kN]	Forskydning [kN]	Moment [kN*m]	Forankring	Forankringskraft [kN]	Vederlagslængde [m]	Kontrol1	Flytning
1	2933	746	14408	⊘	3074	0,71	OK	ingen stålbeslag
2	2469	631	10933	⊘	2360	0,56	OK	ingen stålbeslag
3	2006	516	7916	⊘	1739	0,42	OK	ingen stålbeslag
4	1542	401	5361	⊘	1206	0,3	OK	ingen stålbeslag
5	1078	287	3263	⊘	0	0,65	OK	Nødvendigt med stålbeslag
6	615	172	1624	⊘	0	1,42	OK	Nødvendigt med stålbeslag
7	151	57	443	⊘	0	0,84	OK	Nødvendigt med stålbeslag

Figur 39
Stabilitetsberegninger for væg 3
NB Etage 1 svarer til vægge i stueetagen

Det ses af Figur 39, at det for de 4 nederste etager er nødvendigt at forankre væggen. Derudover ses det for væggene på 5. etage og opefter, at det er nødvendigt at fastholde dem i forhold til en vandret udskridning. Dette gøres med montering af stålbeslag. Der er i stabilitetsberegningerne regnet med lastkombination 2 jf. afsnittet *Lastkombinationer*. Udregningerne for væg 5 og væg 8 kan ses i appendixmappens bilag nr. 13.

¹¹ Formlerne kan ses jf. litteratur [3]



En yderligere opsummering af hvorledes forankringen er nødvendig er skitseret på Figur 40. Her ses det, hvordan den lodrette reaktion falder udenfor væggen på de første fire etager og først på den femte, vil det væltende moment være mindre end det stabiliserende.

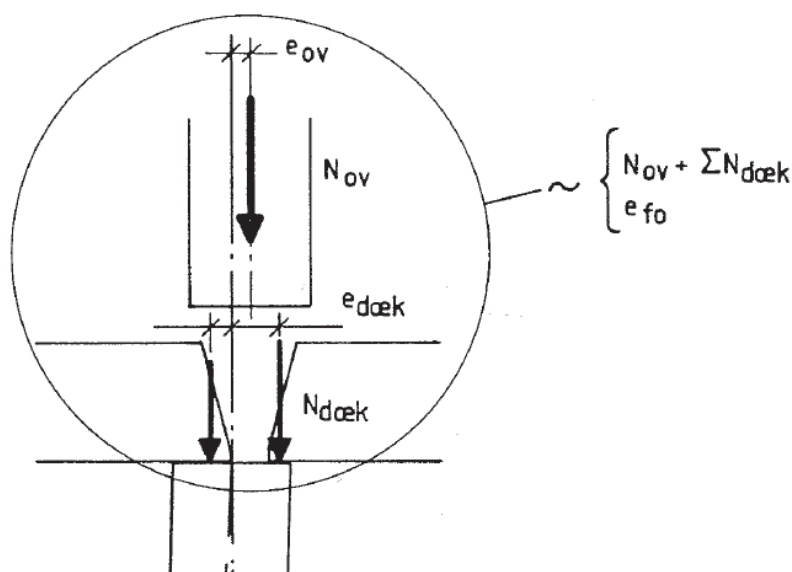
Figur 40
Stabilitet

Bærende vægge stueetage

På de bærende vægge er der anvendt en søjleberegningss metode jf. litteratur [5]. Der regnes på de hårdest belastede vægge i stueetagen og væggene ses som massive og uarmeret.

Lastandele for de respektive vægge er udregnet og anført i appendixmappens bilag nr. 11. Her fremgår det, at væg 11 er den hårdest belastede, og denne vil derfor være dimensionsgivende.

På Figur 41 ses de resulterende kræfter for hhv. vægge fra overliggende etager N_{ov} , dæk fra venstre side $N_{dæk1}$ og dæk fra højre side $N_{dæk2}$. I forhold til væg 11's centerlinje udregnes en resulterende excentricitet for det samlede kraftsystem som en summation af forholdet mellem de enkelte excentriciteter.



Figur 41
Last og excentricitet¹²

Beregningerne fremgår af appendixmappens bilag nr. 2a og de resulterende kræfter N_{ov} , $N_{dæk1}$ og $N_{dæk2}$ lyder som følgende:

- $N_{ov} = 543 kN$
- $N_{dæk1} = 34 kN$
- $N_{dæk2} = 26 kN$

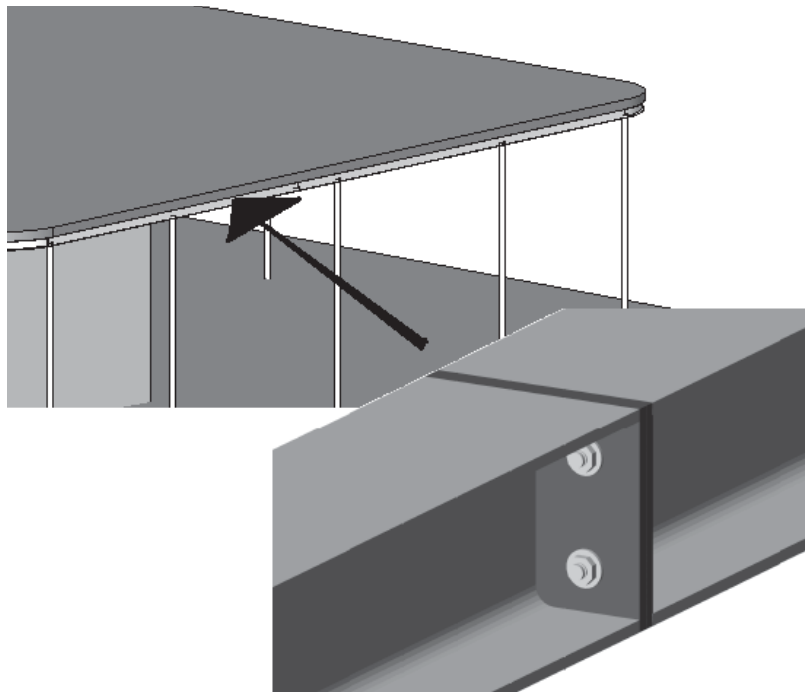
Den kritiske last er fundet til $N_{crd} = 1123 \frac{kN}{m}$ og da dette er større end den samlede belastning på $N_d = 603 \frac{kN}{m}$, vil der ikke opstå nogen problemer mht. bæreevnen. Dette betyder, at den givne dimension på 250mm. giver tilstrækkelig bæreevne og kan benyttes på samtlige vægge i bygningen.

¹² Tegningen er taget fra notat om betonberegninger se litteratur[5]

Detaljer

Boltesamling mellem to HEA 180 profiler til taget.

Til samlingen mellem to af kantprofilerne til tagkonstruktionen er der valgt en boltesamlingen som illustreret på Figur 42 nedenfor. For at dimensionere boltesamlingen er snitkræfterne ved den givne samling fundet i RSA. Til dette formål er det dynamiske link mellem Revit og RSA igen benyttet. Snitkræfter og bæreevneberegninger fremgår i appendixmappens bilag nr. 9.

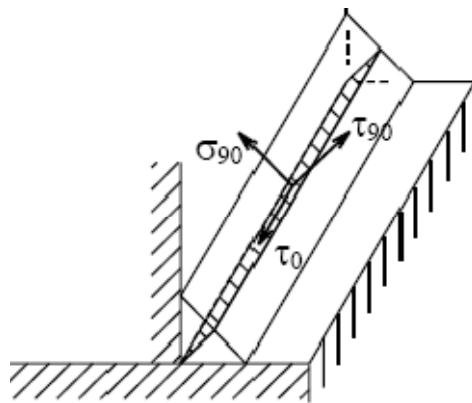


Figur 42
Boltesamling

Boltesamlingen er valgt som en kategori B samling med normale huller, hvilket er ensbetydende med, at hulrandsbæreevnen, overklipningsbæreevnen og friktionsmodstanden skal kontrolleres. Der er valgt fire M12 bolte samt en pladetykkelse mellem HEA profilerne på 10 mm, hvilket giver tilstrækkelig bæreevne.

Svejsesamling mellem to HEA 180 profiler til taget.

Den valgte boltesamling til to af bjælkerne på taget er udført således, at det er nødvendigt at svejse endeplader på begge profiler. Dette kræver derfor en eftervisning af svejsesamlingen, således at det sikres at forskydningskraften også kan overføres gennem denne. Det antages, at svejsningen langs kroppen optager forskydningen hvilket gør at τ_0 er den eneste spænding, der vil optræde i sømtværsnittet. På Figur 43 ses de spændinger, der kan optræde i sømtværsnittet.



Figur 43
Spændinger i svejsesøm¹³

Hvis det antages at kroppladesvejsningen er ene om at optage forskydningen, giver en sømlængde på $a=3\text{mm}$ rigelig bæreevne. Fordelingen af forskydningskraften ud på svejsesømmen er gjort efter følgende formel:

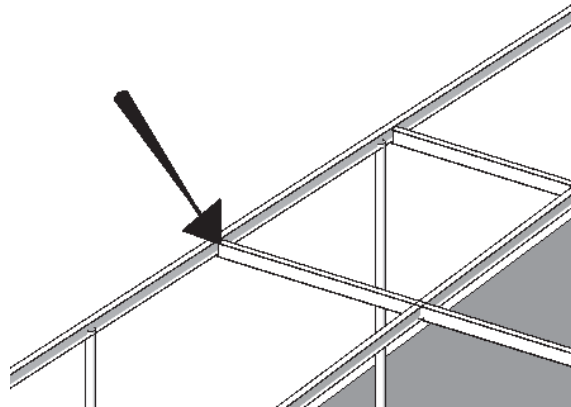
$$\tau_0 = \frac{V}{2 \cdot a \cdot l_{\text{eff}}}$$

Håndberegningerne til svejsesamlingen kan ses i appendixmappens bilag nr. 10

¹³ Tegningen er taget norm[6]

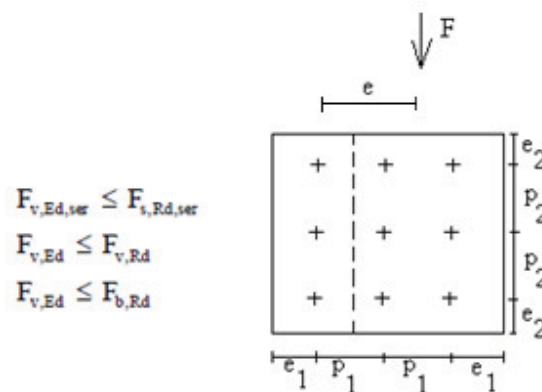
Boltesamling mellem HEA 180 profil og HEA 200

På Figur 44 er samlingen mellem et af tagkonstruktionens tværgående HEA 200 profiler og et langsgående HEA 180 kantprofil markeret. Samlingen mellem profilerne er valgt som kombineret svejse og boltesamling, og fremgår i appendixmappens af detaljetegning 7.



Figur 44
Samling mellem HEA 180 og HEA 200

Samlingen er en kategori B samling med normale huller, hvor det igen skal eftervises, at hulrandsbæreevnen, overlappingsbæreevnen og friktionsmodstanden er tilstrækkelig. Bæreevnekriteriet til kategori B-samlinger samt den indbyrdes placering af boltene er illustreret på Figur 45.



Figur 45
Boltesamling og bæreevnekriterier

Hvis der anvendes en samling med ni bolte af størrelsen M12, giver dette tilstrækkelig bæreevne for boltegruppen. Bæreevneberegningerne fremgår af appendixmappens bilag 8.

Konklusion for delrapport 2

Der er igennem delrapport 2, med henblik på det statiske projekteringsforløb, blevet anvendt en række af de metoder gennemgået i delrapport 1, for at se om de kunne have en optimerende virkning på processen. Selve påsætningen af laster, lastkombinationer, indspændinger og materialeparametre på punkthusets tagkonstruktion og den efterfølgende linkning til RSA forløb uden problemer, og det er helt klart vores overbevisning, at der var tidsbesparende i forhold til at have modelleret den på ny i RSA.

Derudover er en række EDB programmer blevet inddraget ligeledes med det formål at optimere projekteringsforløbet. Indlæringen af programmeringsprincipper i f.eks. Mathcad er en tids- og ressourcekrævende proces i begyndelsen, men når man har lært at begå sig i det, så er mulighederne for at optimere beregningsgange også til stede.

Programmets integreringsmulighed med Excel er i langt de fleste tilfælde en gevinst. I det konkrete eksempel kan stort set samtlige af de Mathcad programmer, vi har udarbejdet kædes på den samme lastansættelse eller dataark i Excel. Dvs. evt. ændringer i lastansættelsen modificeres blot i Excel arket, og så følger den vifte af tilhørende Mathcad beregningsprogrammer selv med.

Samlet konklusion

Der er gennem projektet forsøgt at optimere elementer i projekteringsfasen ved hjælp af inddragelsen af en række BIM- og EDB værktøjer. Som delkonklusioner for henholdsvis delrapport 1 og delrapport 2 antyder, så overskygger de positive sider ved brugen deraf helt klart de enkelte mangler, som stadig er at finde ved de omtalte værktøjer. Sidstnævnte aspekt er efter vores overbevisning det, som afholder enkelte aktører i branchens i at begive sig ud mere omfattende digitalisering af projekteringsforløbet. En skepsis som man umiddelbart godt kan se fornuften i, for hvem har som selvstændig erhvervsdrivende lyst til at kaste sig ud i noget, hvor man allerede på forhånd ved, at produktet ikke er 100 % udviklet. Her er det dog vigtigt at nævne, at lige som de grundlæggende egenskaber ved BIM programmerne hele tiden underlægges en konstant videreudvikling, så gælder det samme for de ekstra applikationer eller extensions som knyttes til dem. Dvs. selvom f.eks. applikationer til dynamisk linkning til FEM programmer stadig bærer præg af mangler, så er de konstant under overvågning og videreudvikles løbende af udbyderne. De grundlæggende funktioner er til stede og fungerer, så i den henseende er vi nået til den opfattelse, at man som firma skal ignorere sin skepsis og bare hoppe ud i det. Teknologien for et mere fuldendt produkt skal nok komme, og har man introduceret sine medarbejdere for den digitale tankegang, så er man væsentlig bedre stillet i en branche, der efter vores mening kommer til at gå mere og mere i den retning. Selve indlæringen vil være en ressource krævende indsats, men de optimeringsmuligheder, som BIM programmerne efterfølgende tilbyder, vil overgå denne udgift mange gange både økonomisk og tidsmæssig.

Mht. inddragelsen af EDB værktøjer så er det vores opfattelse, at de i højere grad end BIM værktøjer er integreret både blandt branchens store men også lidt mindre firmaer. Vi har selv været igennem et udviklingsforløb gennem vores civilingeniørstudie på DTU, hvor vi er gået fra "almindelig håndberegnings metoder" til at udføre stort set alt ved hjælp af EDB programmer som Mathcad. Denne overgang har været efter eget initiativ, da der stort set ikke forekommer kurser hvor der undervises specifikt i dem. I den sammenhæng har vi følt, at inddragelsen af disse i et kandidatprojekt som efterfølgende ville blive publiceret, kunne være med til at sætte fokus på de muligheder, som integreringen af dem tilbyder. Mht. til inddragelsen i projektet så rustede programmerne os, hvad der også var vores forventning fra start, meget bedre mod de ændringer i projektet som altid forekommer under et projekteringsforløb. Det er altid en smagssag hvor mange parametre i et beregningsprogram, man vælger at definere som variable alt afhængig af hvor universel programmet ønskes at være. Jo mere universel du ønsker det, jo mere tid vil programmeringen tage. Det samme gælder integrering af informationer fra andre programmer så som Excel eller lignende. Især mht. til sidstnævnte, så har vi erfaret, at der er hårfin grænse for hvornår, at det har en optimerende virkning på projekteringen, og hvornår det blot bliver en ekstra tidsmæssig byrde. Informationer der integreres fra et struktureret og fastopbygget regneark, dvs. informationsrubrikker flyttes ikke rundt under vejs f.eks. et dataark på stålprofiler eller lignende, så er fremgangsmåden ganske fordelsagtig. Men forekommer der modifikationer i rubrikkernes placering undervejs, så overgår tidsforbruget til programmeringen pludselig de optimeringsmæssige fordele programmet måske kunne tilbyde.

Alt i alt besidder de værktøjer og arbejdsgange gennemgået i rapporten helt klart egenskaber, som tilbyder optimeringsmuligheder i projekteringsforløbet. Medlemsundersøgelse fra BIM indikerer en branche der er i fuld gang med at opruste sig til en digital hverdag, og det er efter vores mening bare med at hoppe på toget, inden det er kørt.

Litteraturliste

[1]

Teknisk ståbi 20. Udgave 2009

[2]

Notat: Foldning af pladefelter (begyndende foldning) April 2009 Henning Agerskov

[3]

Notat: Skivebygningers statik af Egil Borchersen og Henning Larsen 2002

[4]

Notat: Projektering og udførelse af bygninger BYG. DTU Per Kjærbye

[5]

Notat: Huldæk- og væg – elementer i beton. Bæreevnebestemmelse Henning Larsen 1986

[6]

Stålkonstruktioner efter DS 412, Nyt Teknisk Forlag 2004 af Bent Bonnerup og Bjarne Chr. Jensen

Websider

[7]

<http://www.betonelement.dk/Forside.aspx>

[8]

<http://www.detdigitalebyggeri.dk/>

[9]

<http://www.bips.dk/Bips/Main/Mainpage.htm>

[10]

http://www.carlsbergejendomme.com/index.php?pk_menu=132

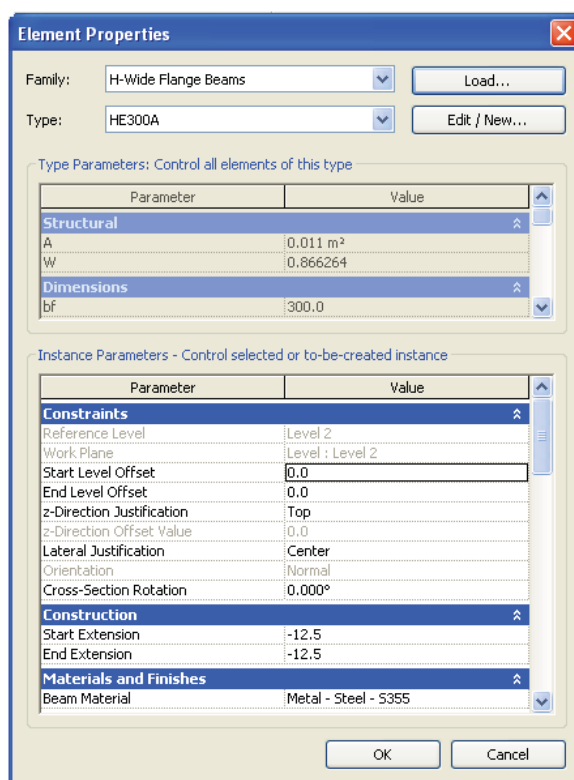
[11]

<http://www.tekla.com/uk/Pages/Default.aspx>

Opgave bilag

Opgavebilag 1 - Gennemgang af specifikke Revitfunktioner

For at illustrere det begreb, at Revit formår at tilknytte information til en konstruktionsdel, er der taget udgangspunkt i et HEA 300 stålprofil. Under menupunktet indsættelse af *BEAM* er der i databasen valgt et stålprofil af typen HE300A, hvorefter en højreklikning på den aktuelle bjælke tilbyder muligheden *element properties*. En dialogboks, som illustreret på Figur 46, fremkommer på skærmen.

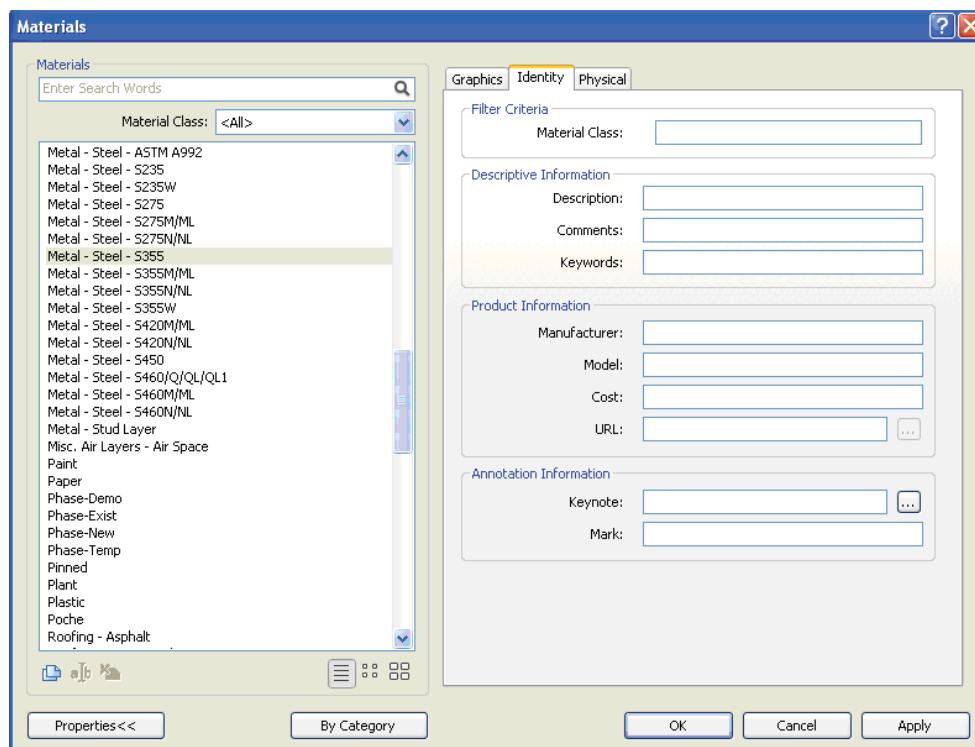


Figur 46
Element properties

Det ses af Figur 46, at det valgte stålprofil tilhører familien *H wide flang beam* og kendetegnes *HE300A*. Det er i midlertidigt muligt at ændre profilet til et andet, enten fra samme familie eller en helt anden, og derefter trykke ok, hvorefter elementet opdateres til det valgte. I menuboksen *Instance Parameters* kan parametre som stålmateriale, indspændinger for hver ende af profilet, tværsnitsareal og lignende aflæses for det aktuelle bjælkeprofil. Vælges menupunktet *edit / new* kan geometrien modificeres efter eget valg. Ønskes der til gengæld ændringer i materialevalg klikkes der i feltet *Beam Material* i *Instance Parameters* og en dialogboks som illustreret i Figur 47 fremkommer.

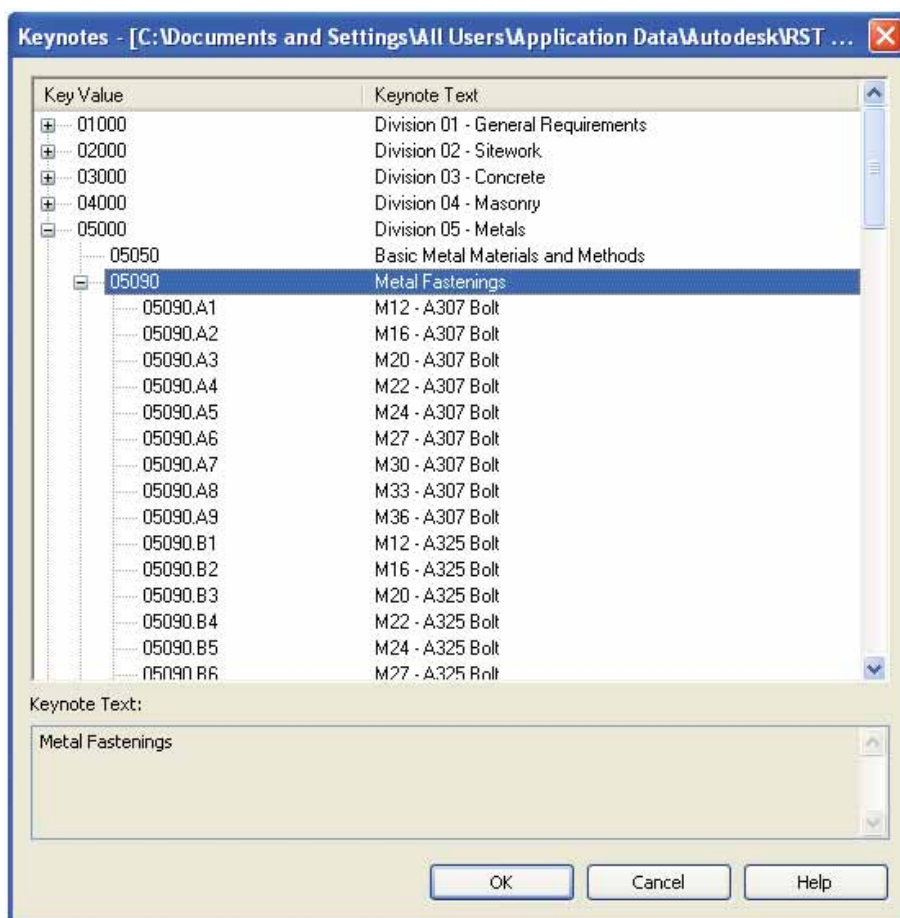
Her ses det for materialevalgets vedkommende, at der for stålet kan vælges mellem en række forskellige styrker. Er ingen af de mulige valg ønskværdige, kan der højreklikkes på initialudgaven *Metal - Steel* og vælges *duplicate*. Dette giver mulighed for at oprette en ny materialespecifikation, hvor samtlige parametre kan indrettes efter eget valg.

Udover materialevalg kan elementet tilknyttes en række identitets faktorer ved at klikke på fanebladet *Identity*. Der skildres her mellem *Filter Criteria*, *Description Information*, *Product Information* og *Annotation Information*. Førstnævnte refererer kun til materialeklassen for profilet, mens *Description Information* tilbyder muligheden for at tilknytte en beskrivelse eller kommentar til det valgte profil. *Product Information* indikerer, hvem som udbyder produktet og dets evt. modelnummer, mens muligheden for at knytte elementet en enhedspris ligeledes er til stede. Sidstnævnte funktion kan sammenkædes med Revit's evne for at generere styklister ud fra de givne volumen- eller mængdemål, hvilket i sidste ende kan danne grundlag for autogenerering af prisoverslagberegninger for de anvendte materialer.



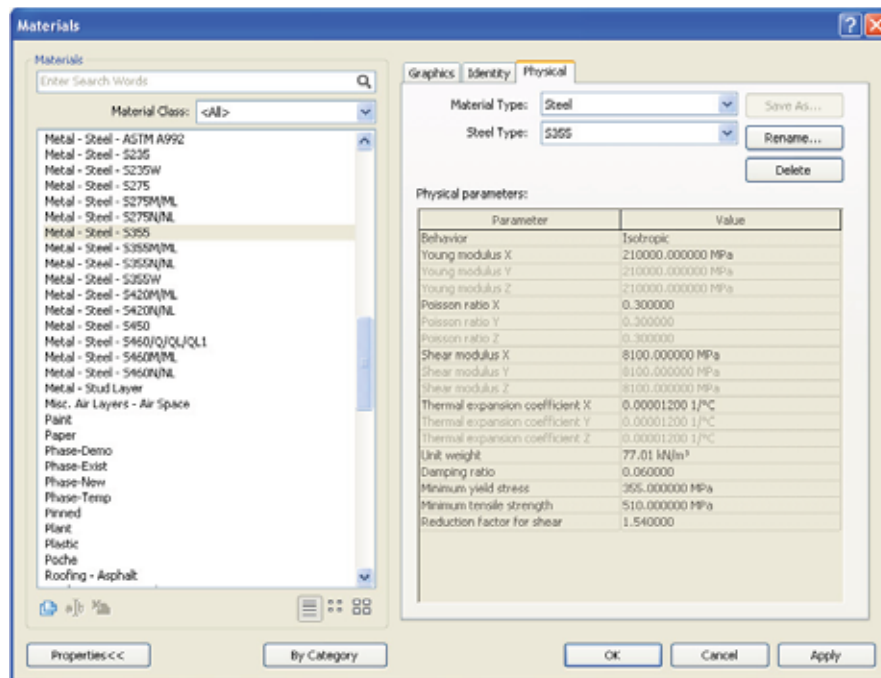
Figur 47
Materials - Identity

Sidst men ikke mindst tilbyder *Annotation Manager* et klassificeringssystem i lighed med DBK klassifikationssystemet. Det at bygge er i stor grad en informationshåndteringsopgave. Tidligere var informationer i byggeriet bundet til medier, som krævede en menneskelig fortolkning. Informationer var typisk anført i tegninger eller dokumenter med stort behov for at ordne, sortere og indeksere. Men med BIM værktøjer åbnes formuligheden for at integrere klassificeringen i 3D modellen, hvilket sætter et helt nyt perspektiv på de ellers aldrig så brugte klassificeringssystemer. Af Figur 48 er *Keynote* menuen åbnet og det fremgår ret tydeligt af figuren, at klassifikationssystemet strækker sig vidt. Selv samlinger mellem stålelementer indgår helt ned på boltestørrelse niveau, så stort set hele byggeriet kan inddrages.



Figur 48
Keynotes

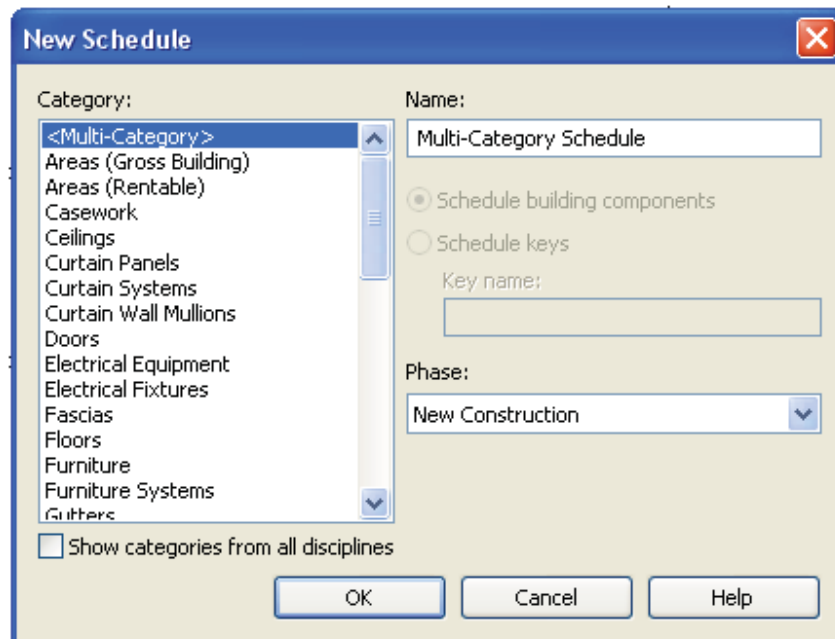
Retter vi blikket mod FEM overførsler fra BIM modellen er fanebladet *Physical* pludselig essentiel. Som illustreret i Figur 49 så ses det, at stort set alle informationer vedrørende tværsnitsdata til statik- og bæreevneberegninger er tilgængelige for det valgte profil. Som tidligere nævnt er det også her muligt at duplikere initialversionen af et profilelement og opbygge den efter eget valg. En række af branchens gængse FEM programmerne er i stand til at genkende disse tværsnitsdata og benytte dem i de respektive statikberegninger umiddelbart efter overførslen.



Figur 49
Materials - Physical

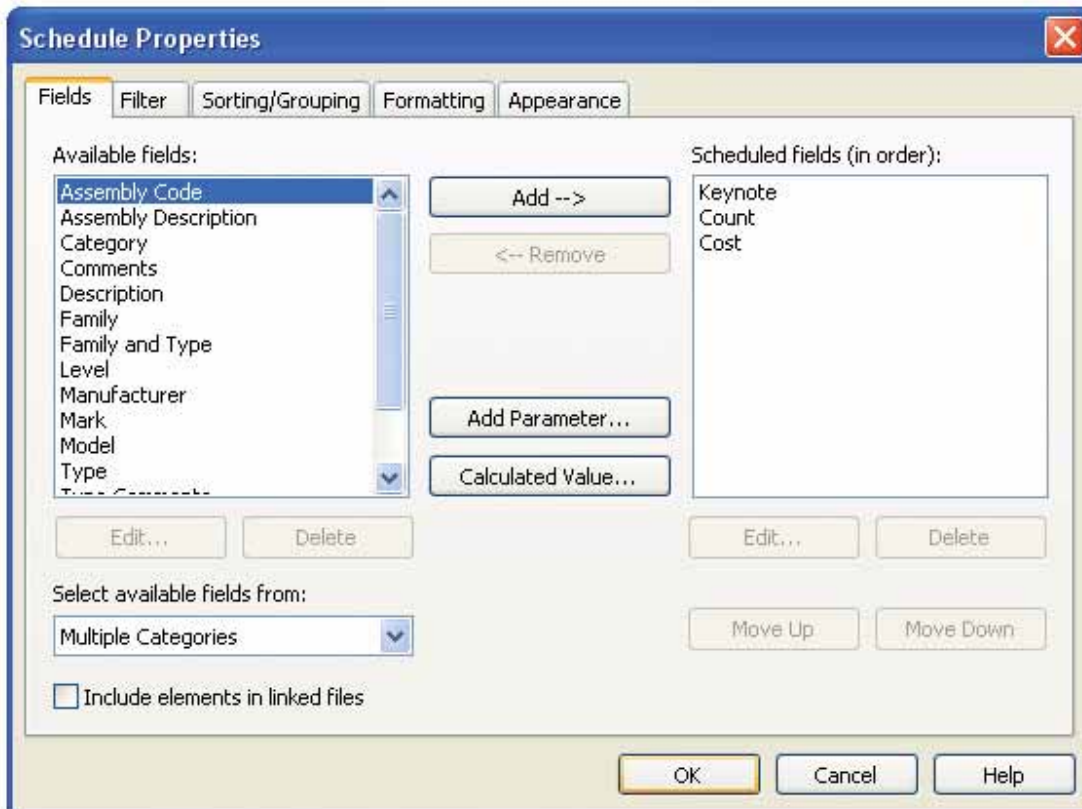
Styklistegenerering

Udover muligheden for at tilknytte informationer til de enkelte bygningsdele, så besidder Revit også muligheden for at tælle dem op og tilføje dem i tabeller, lister og lignende. Ved et klik på view efterfulgt af *Schedule/quantities* opnås dialogboksen illustreret i Figur 50. I figurens højre side ses et udsnit af de objekter og flader, som Revit er i stand til at genere styklister på. Vælges *show categories from all disciplines* kan der tilføjes lister fra et endnu større udvalg.



Figur 50
Styklister

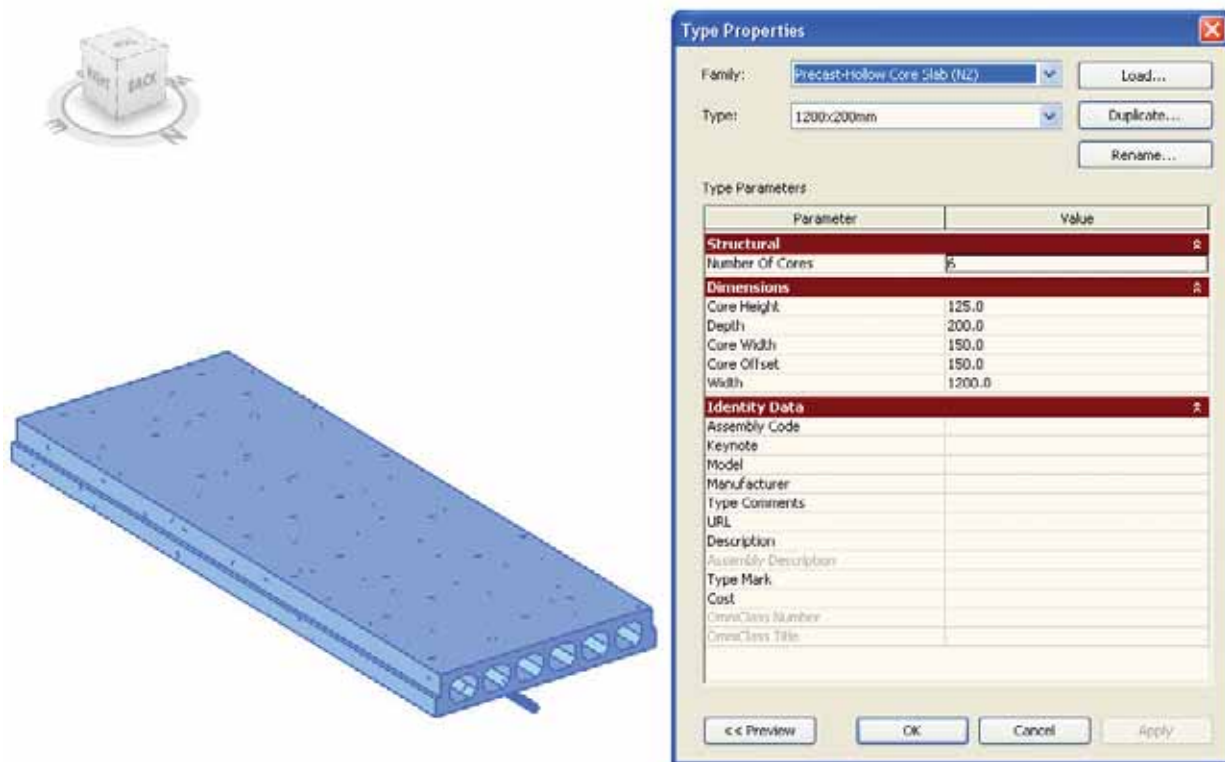
Når den ønskede listekategori er valgt, kan de emner som man ønsker, at der skal indgå i sin styklister vælges jf. Figur 51. Har man f.eks. fra start benyttet klassifikationssystemet jf. keynotes og assembly code, kan man vælge at lade disse indgå. Ønskes en rubrik som skal udgøre et multiplum af f.eks. en pris pr. kvadratmeter og et areal vælges menuen *Calculated Value*.



Figur 51
Kategorier i styklister

Families

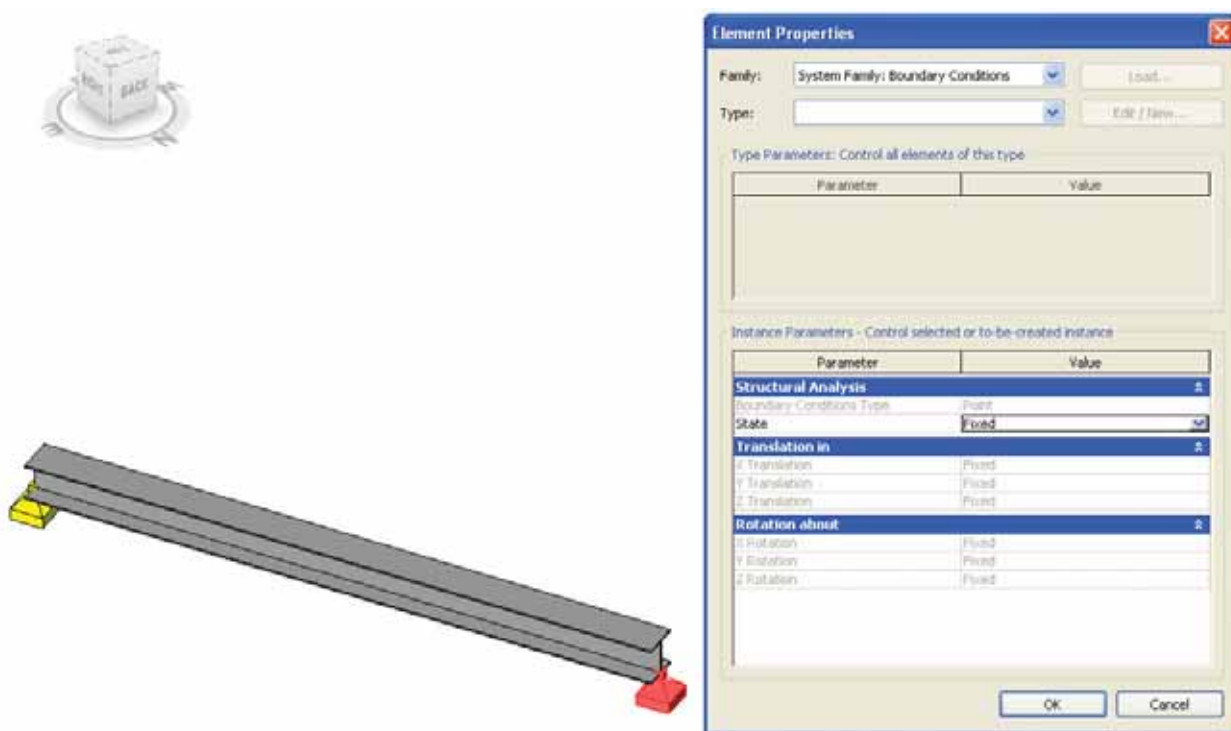
I modsætning til 2 dimensionalt tegningsmiljø, hvor stort set samtlige element-, samlings-konstruktionsdele bliver opbygget helt fra bunden, så indeholder Revit Structure en række databaser med en lang række parametriske konstruktionsdele lige fra bjælker af diverse materialer til præfabrikerede betonehuldæk. Tager vi udgangspunkt i betonehuldækket, så har man muligheden for at indstille den i de dimensioner, man finder ønskværdige og ved at indsætte dem som moduler direkte i modellen, kan der opnås en realistisk og præcis oversigt, som efterfølgende kan danne grundlag for bestillingen hos betonelementleverandøren. I Figur 52 er der implementeret et betonehuldæk eller en *Precast Hollow Core Slab* som den betegnes og dets tilhørende *properties*. I lighed med stålprofilet beskrevet ovenfor, så kan denne også tildeles en række egenskaber som enhedspris, beskrivelse, klassifikations nummer mm. Ydermere kan den geometriske udformning hvad bredde, længde, antallet af hulrander og deres dimensioner indstilles efter eget valg.



Figur 52
Dæk og type properties

Påsætning af last, indspændinger og understøtninger

En anden væsentlig fordel ved Revit Structure, når vi taler FEM overførsler, er muligheden for påsætning af laster, indspændinger og understøtninger. En række af branchens mest gængse FEM programmer forstår nemlig at tolke disse informationer ved en evt. overførsel og benytte dem i sine beregninger. De analytiske egenskaber fremkaldes ved at åbne menuen *modeling* hvorefter mulighederne for henholdsvis *Boundary Conditions* og *Loads* fremkommer. Vælges førstnævnte, fremkommer muligheden for at indsætte understøtninger på det valgte stålprofil. Højreklikkes der på understøtningen og vælges *Element Properties*, så fremkommer en dialogboks som illustreret på Figur 53.



Figur 53
Bjælke og element properties

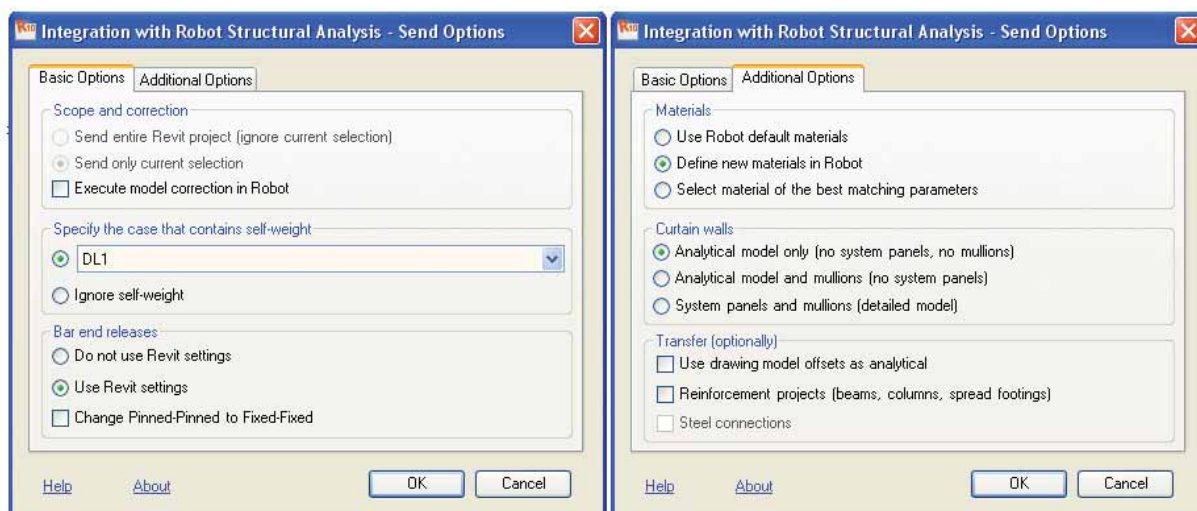
Her ses det at den indsatte understøtning, i dette tilfælde markeret med rødt, er fuldt ud indspændt hvad angår både rotation og flytning i x, y og z-akse. Ønskes en anden form for understøtning vælges der blot en release i den ønskede retning. Det ses, at der i dette tilfælde er tale om en punk understøtning

jf. *Boundary Condition Type* menuen, men havde det været en bærende væg eller lignende ville *Boundary Condition Type* være indstillet til *linie* i stedet for.

Hvad indspændinger mellem konstruktionsdele angår, f.eks. hvis stålprofilet indgik i en form for gitterkonstruktion eller lignende, så indstilles det ønskede indspændingsforhold i menuen *Element Properties*. Under punkterne *Start releases* og *End releases* indstilles den ønskede indspænding i forhold til profilets lokale koordinatsystem, men ellers efter samme princip som tidligere anført.

Linket FEM overførsel

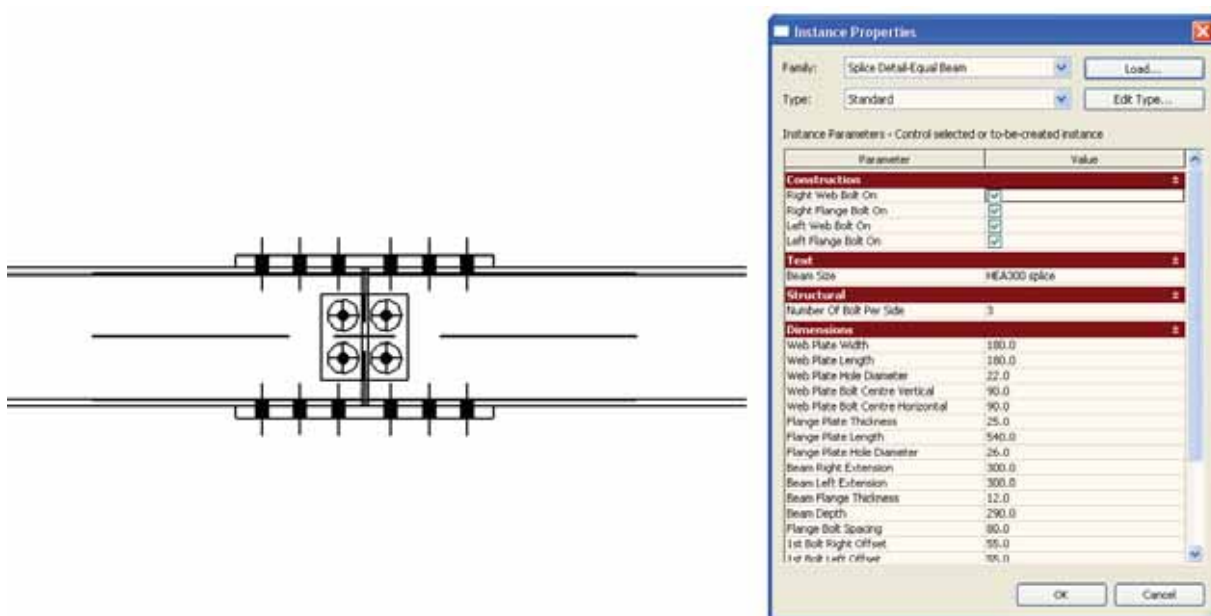
Som nævnt tidligere så tilbyder Revit Structures integrering med en række af FEM programmer. Der skildres mellem en række mere eller mindre komplekse overførselsmetoder, hvor de så såkaldte *linkedede overførsler* byder på de mest gennemførte løsninger. I modsætning til de mere almindeligt kendte IFC overførsler, hvor kun de geometriske forhold tages i betragtning, så opretter den linkede overførsel et direkte link mellem de to programmer hvor opdatering af ændringer, foretaget i enten BIM- eller FEM programmet, er muligt. Metoden tilbyder ydermere muligheden for at overføre begreber som materialedata, laster og indspændinger, som allerede er tilknyttet de enkelte konstruktionselementer i BIM modellen. I Figur 54 ses de valgmuligheder som Revit tilbyder i forbindelse med linket overførsel. Det ses af figuren, at der kan indstilles specifik hvilke informationer, som skal medtages fra BIM modellen og hvilke som tilføjes i FEM programmet.



Figur 54 – screen dump fra Revit af egenskabsindstilling for linket FEM overførsler.

Revit Detailing

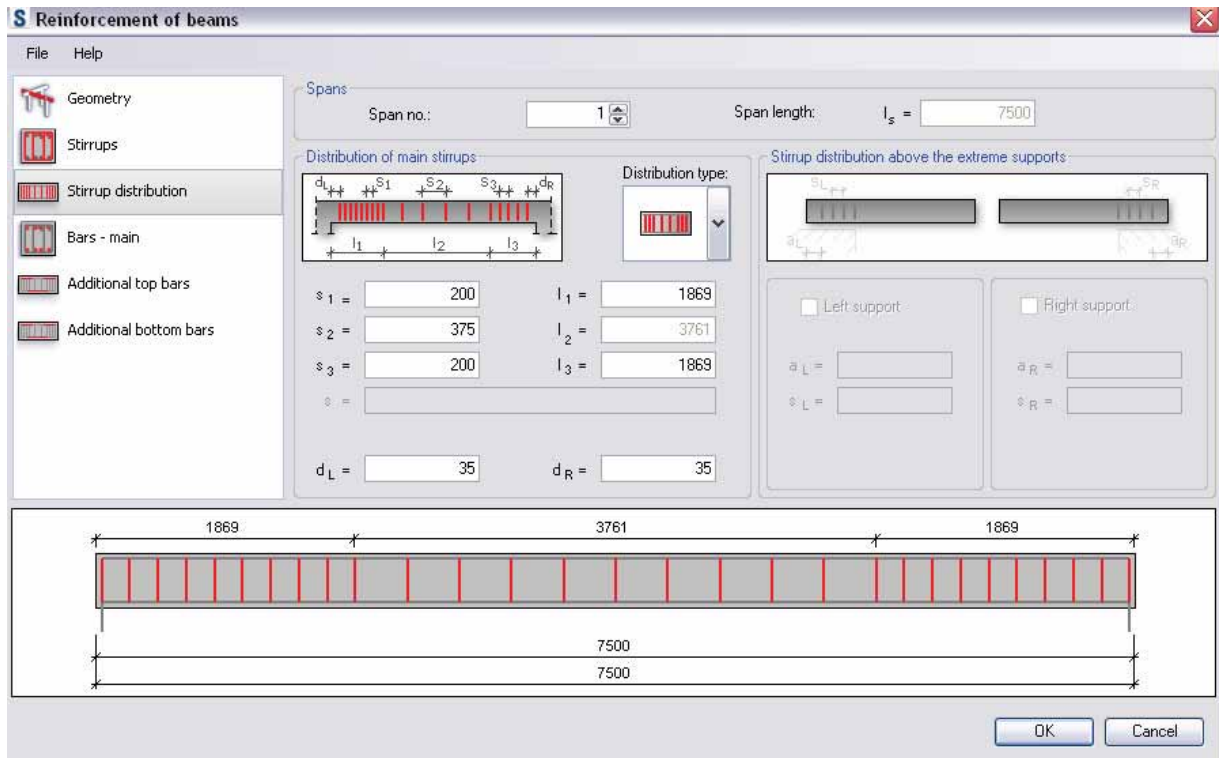
Som nævnt tidligere, så tilbyder Revit Structure muligheden for at indsætte detaljer direkte i 3D modellen. Revit indeholder en række komponentkataloger med en række af samlinger og detaljeløsninger typisk anvendt i projekteringsfasen. Når den ønskede samling eller detaljeløsning er implementeret på den valgte placering i modellen, generes der let en detaljetegning af den. Samlingerne er parametriske og skildres typisk mellem 2D versioner og 3D versioner. Sidstnævnte kan ses visuelt når *view'et* i Revit er sat til 3D mode, mens 2D versioner kun kan ses når *view'et* er i *plan mode*. I Figur 55 nedenfor ses en typisk boltesamling og dens *Instance Properties*. Samlingen er indsat mellem to HEA profiler og er i 2D version, så den kan kun ses når *view'et* er sat til *plan mode*. Det ses af menupunktet *Dimensions* at samlingen er parametriske og stort set kan indstilles som ønsket.



Figur 55
Parametrisk samling

Er den ønskede samling eller detaljeløsning ikke lige at finde i komponentkataloget, så findes muligheden for at tjekke for evt. opdateringer på internettet. Hjemmesider som Revitcity.com og bimbyen.dk tilbyder opdateringer af komponenter og families i alt lige fra boltesamlinger og stålrammeprofiler.

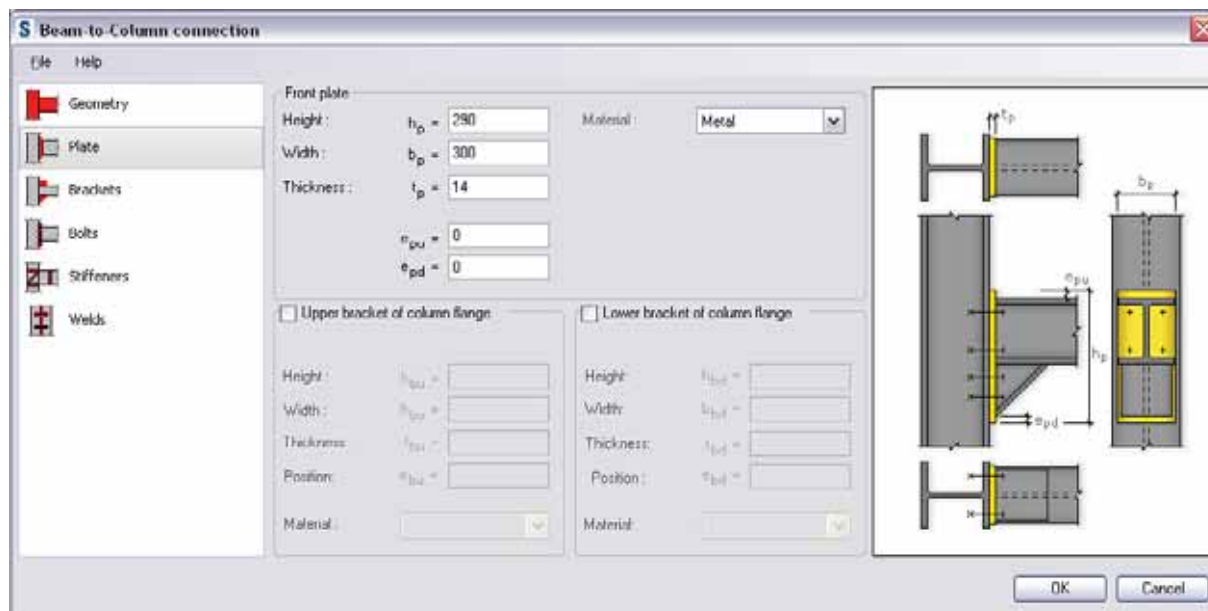
Som en ny "feature" i Revit Structure 2010 kan der hentes en extension, som tilbyder muligheden for at armere betonelementer i 3d-regi. I lighed med ovenstående er detaljerne parametriske og kan indstilles efter ønske jf. Figur 56.



Figur 56
Parameterindstilling for bjælkearmering

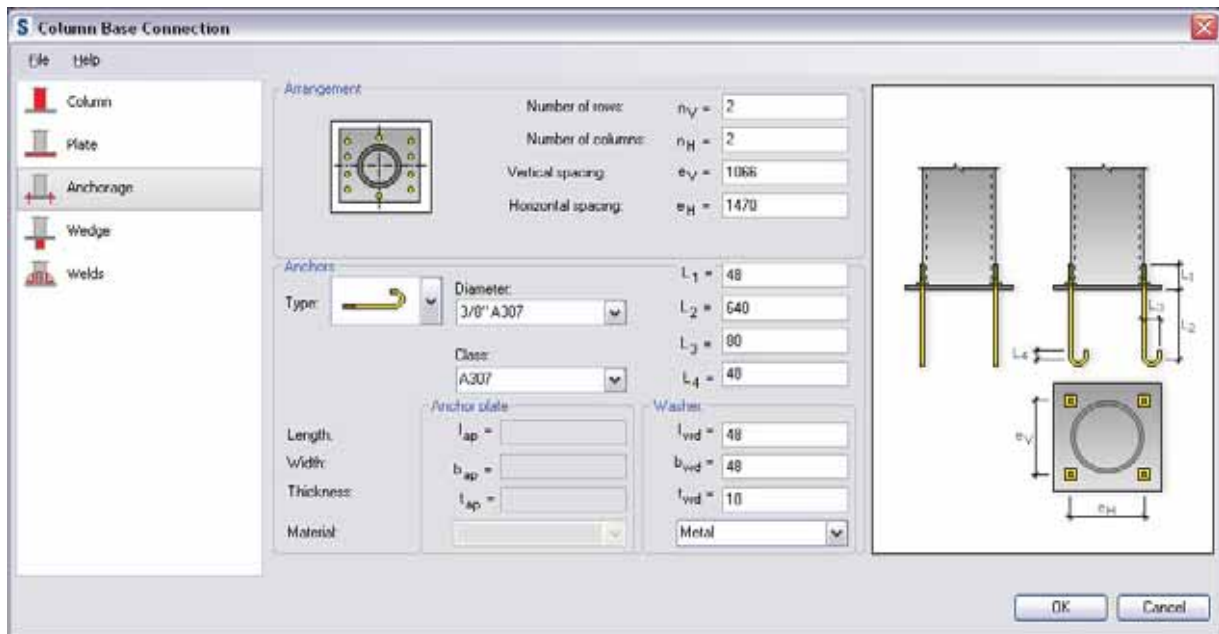
Det ses at alt fra dæklag til bøjleafstand kan indstilles efter behov.

En anden ganske anvendelig "feature" i Revit Structure er enkelte 3d-samlinger mellem bjælker og søjler. Disse er også parametrisk opbygget, og nogle af indstillingsvalgmulighederne kan ses på Figur 57



Figur 57
Parametri for endplate for bjælke

Den sidste "feature" som er valgt beskrevet her, er en søjleplade inklusiv forankring. Parametrierne kan ses på Figur 58.



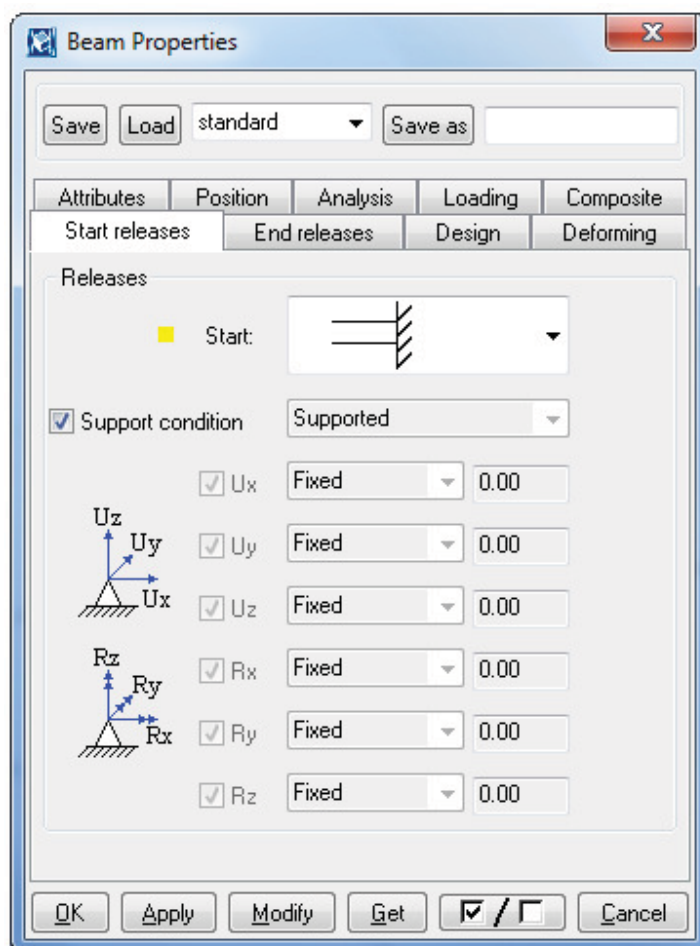
Figur 58
Søjleforankring

På ovenstående ses de forskellige indstillingsmuligheder, der er for både "baseplaten" samt de bøjler, der skal bruges til forankring.

Opgavebilag 2 - Gennemgang af Tekla-RSA overførselsfunktion

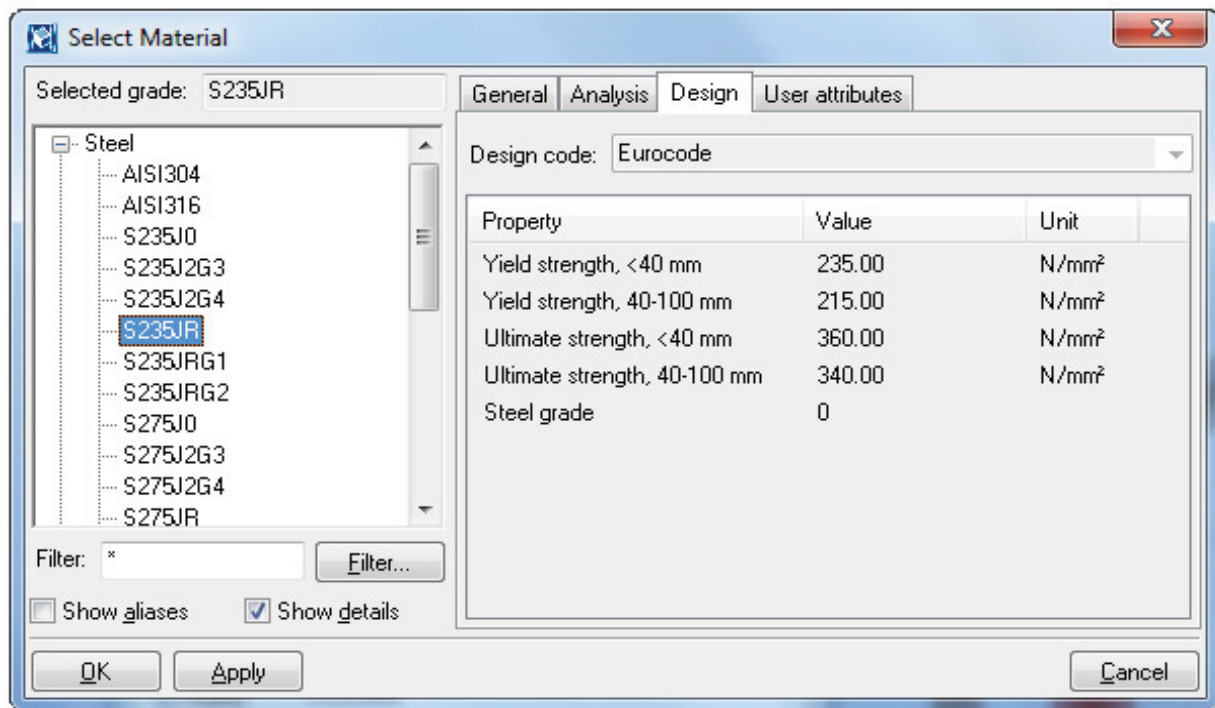
Som en forholdsvis ny feature ved Tekla Structure, så kan elementer defineret i programmet linkes ind i FEM programmet Autodesk Robot Structural Analysis. I modsætning til IFC overførsler eller tidligere links fra Tekla, så formår den nyeste version ud over geometriforhold at overføre understøtninger, indspændinger, laster, lastkombinationer, tværsnits- og materialeparametre defineret i Tekla. For at linkningen kan fuldføres korrekt, skal der følges en bestemt procedure, ellers risikeres det at alle informationer fra Tekla ikke overføres korrekt. Denne procedure vil blive gennemgået i det følgende.

Den ønskede konstruktions- eller elementdel modelleres på normalvis i Tekla Structure. Der vil blive taget udgangspunkt i et stålprofil. Ved at dobbeltklikke stålprofilet fremkommer elementets *Beam Properties*, som illustreret på Figur 59. Klikkes der på fanebladet *Start releases* eller *End releases*, så fremkommer muligheder for at indstille profilets indspændingsforhold for henholdsvis begyndelses- og slutpunkt mht. det lokale koordinatsystem.



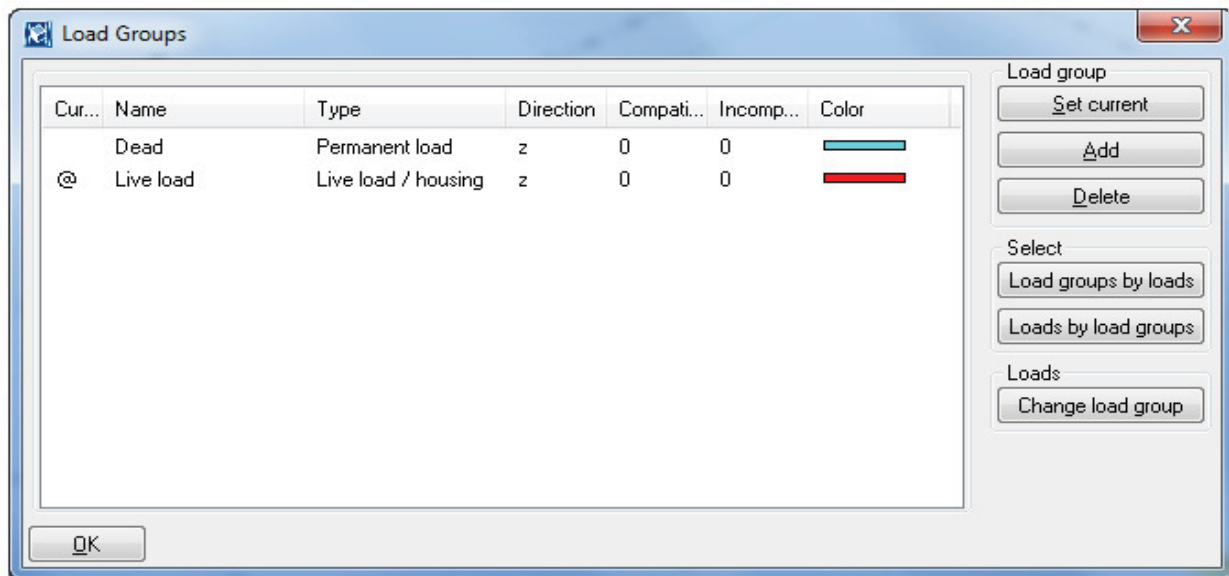
Figur 59
Beam Properties – Start releases

Under fanebladet *Attributes* kan materialeparametre og dimension for det valgte profil indstilles. Klikkes der på materials, så fremkommer en dialogboks som vist på Figur 60. Det ses af figurens venstre side, hvordan stålmaterialer med forskellige flydespændinger kan vælges for profilet. I fanebladene *General*, *Analysis*, *Design* og *User attributes* kan de specifikke materialeparametre for det valgte profil ses.



Figur 60
Beam properties – Analysis

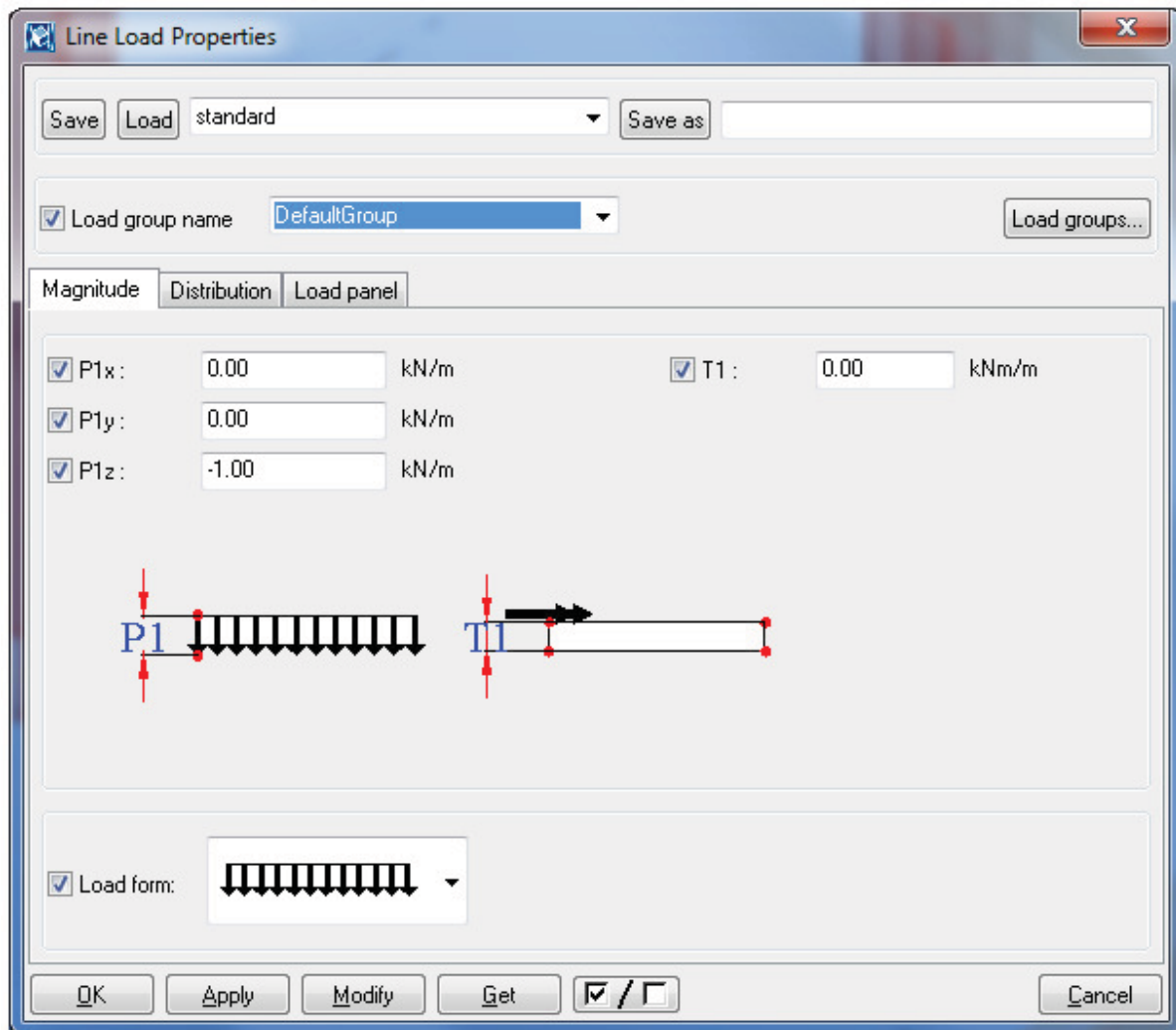
Når indspændinger, tværsnitsprofil og materialeparametre er indstillet, kan last og lastkombinationer defineres. Ved at vælge *analysis* i skærbilledets top efterfulgt at *Loads* og *Load Groups* fremkommer dialogboksen som illustreret på Figur 61.



Figur 61
Load Groups

Her defineres de forskellige lastgrupper, som man ønsker at kunne tilknytte til sin konstruktion. Den gruppe som ønskes "aktuel" til efterfølgende tildeling vælges med knappen *Current* og markeres med et @ i lastgruppelisten. Det er muligt at definere forskellige farver for lastgrupperne, så de er nemmere at skildre fra hinanden i modellen.

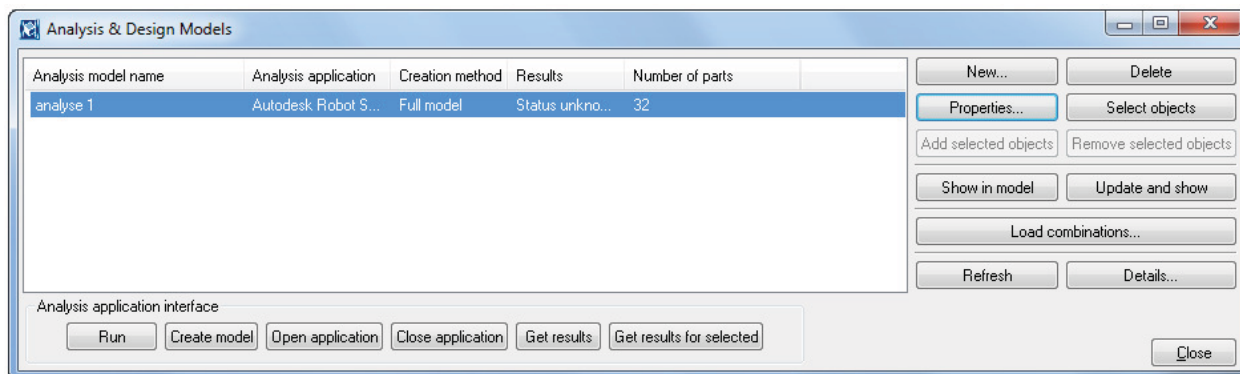
For tildeling af laster vælges menuen *Analysis* i skærbilledets top igen efterfulgt af *Loads*. Ønskes det f.eks. at tildele stålbjælken en linjelast, så vælges menuen *line load* og menuboksen som illustreret på Figur 62 fremkommer.



Figur 62
Line Load

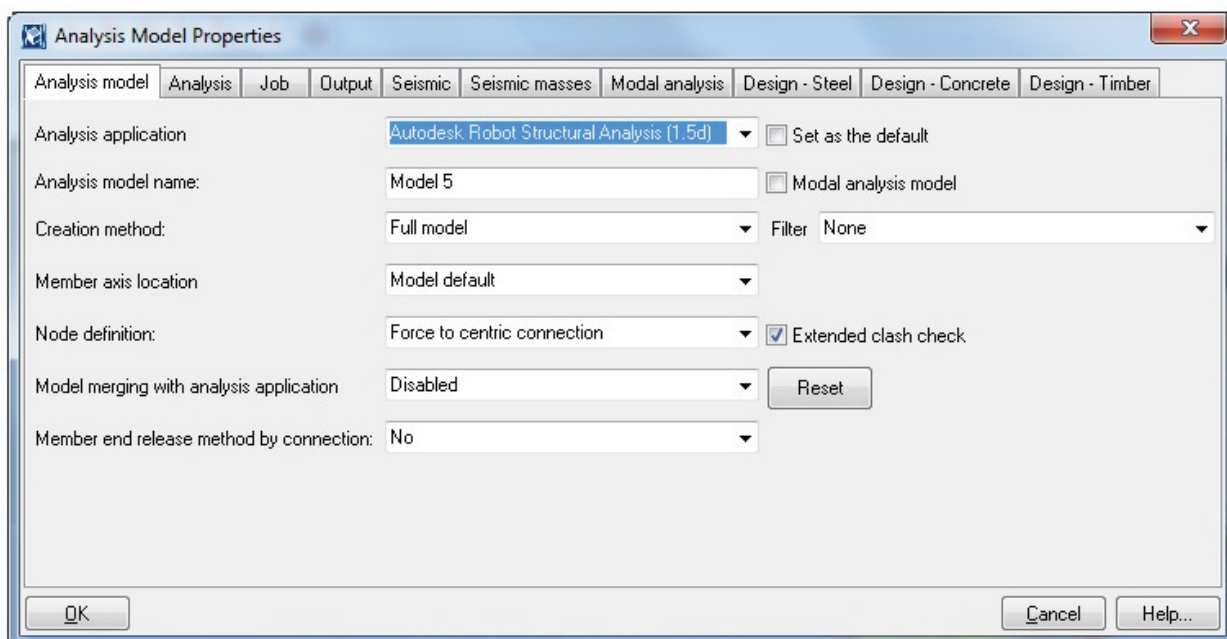
Det er her muligt at indstille parametre som retning, størrelse, fordeling osv. for den valgte linielast. Når parametrene er indstillet som ønsket klikkes der på *Apply* efterfulgt af *OK*, og stålprofilet kan nu tildeles linielasten.

Der er nu tildelt materiale- og tværsnitsdata, laster og indspændinger, så der er stort set klart til overførsel. Dette sker ved at vælge Analysis efterfulgt af Analysis and Design models, hvilket resulterer i følgende dialogboks jf. Figur 63.



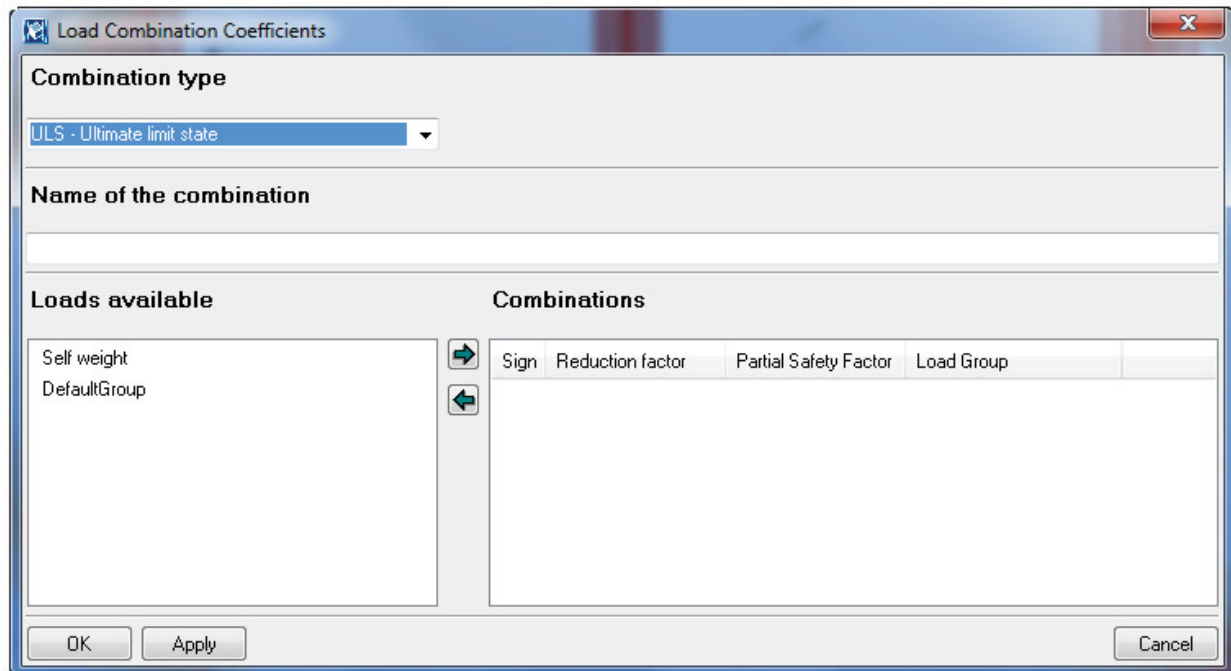
Figur 63
Analysis and Design Models

For at oprette og indstille en linkning til et givet FEM program vælges *New* i dialogboksen *Analysis and Design models* og et skærmbillede som illustreret i Figur 64 fremkommer. Her er det i *analysis application* muligt at indstille det FEM program man ønsker at linke med, altså i dette tilfælde Autodesk Robot Structural Analysis. Derudover kan parametre som navn på den analytiskemodel, overførsel af dele eller hele modellen og lignende indstilles. Et klik på *ok* sender brugeren tilbage i *Analysis and Design models* menuen med de valgte indstillinger.



Figur 64
Analysis Model Properties

For at Tekla vil medtage lasterne er det nødvendigt at definere en eller flere lastkombinationer. Dette sker ved at vælge menupunktet *Load combinations*, som resulterer i en dialogboks som illustreret i Figur 65, hvor de ønskede lastkombinationer og deres respektive partialkoefficienter kan indstilles.



Figur 65
Load combination Coefficients

Et efterfølgende klik på *apply* og *ok* sender brugeren tilbage til menuen *Analysis and Design models*, hvor knappen *Update and show* vælges. Den indspændte og lastpåvirkede bjælke vil nu fremgå af skærbilledet. Er den udført som ønsket, så vælges knappen *run* i *Analysis and Design models* menuen for at starte linkningen til Robot. Autodesk Robot Structural Analysis åbner nu automatisk og modellen vil være at finde med de tilhørende laster, lastkombinationer, indspændinger og tværsnits- og materialeparametre. Ønsker man at hente modellen tilbage til Tekla igen fra Robot vælges knappen *get results* i menuen *Analysis and Design models*.