



Danmarks Tekniske Universitet

Udvikling af IFC-kompatibelt dimensioneringsprogram



Kandidatspeciale af Thomas Hansen

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg



SAG: Eksamensprojekt ved DTU-BYG

DATO: 2011-08-15

EMNE: Udvikling af IFC-kompatibelt dimensioneringsprogram

INIT: TH/

SIDE: 1 **AF:** 119

TITELBLAD

Indhold: **Eksamensprojekt**

Udarbejdet ved: **DTU-BYG**

Vejleder: **Lektor civilingeniør Jan Karlshøj**

Projektperiode: **1. februar – 15. august 2011**

Sted: **DTU-BYG**
Danmarks Tekniske Universitet
Brovej, Bygning 118
2800 Kongens Lyngby

Eksamensprojekt ved BYG-DTU er et obligatorisk kursus med en varighed på 5 måneder og sat til 35 ECTS point svarende til 1680 arbejdstimer.

2011-08-15 Danmarks Tekniske Universitet.

Thomas Hansen

FORORD

Dette kandidatspeciale er udført som en del af graden til en Master of Science in Engineering (MSc) på Institut for Byggeri og Anlæg på Danmarks Tekniske Universitet (DTU-BYG).

Afhandlingen udgør 35 ECTS-point, som repræsenterer arbejdsbyrden i cirka et semester og har været gennemført i løbet af forårssemesteret 2011 (1. februar – 15. august).

I forlængelse af denne rapport er vedlagt en cd-rom indeholdende beregningsprogrammer og IFC-filer samt en PDF-version af afhandlingen.

Alle kildehenvisninger i afhandlingen er angivet med firkantede parenteser [Forfatter, år]. Hvis et citat anvendes direkte fra en kilde, vil det blive angivet med anførelstegn. I referencelisten henvises til bøger, artikler og besøgte websider.

Under specialet, har Brian Jønck fra Tekla Danmark bistået med teknisk vejledning og støtte ved forskellige problemer og softwarenedbrud. Jeg vil også gerne takke min vejleder lektor Jan Karlshøj bistand, feedback og forståelse.

I eksamensprojektet er der i vid udstrækning valgt at benytte både danske og engelske betegnelser. Såfremt det pågældende ord på dansk dækker over et veldefineret begreb – så benyttes oftest den danske oversættelse. I andre tilfælde synes det engelske/internationale ord at give en bedre beskrivelse. En rytme/flow i teksten kan også afgøre valget.

Der er valgt benytte betegnelserne Add-in og Add-on i henhold til eventuelle offentlige beskrivelser eller producenters ordvalg. I andre tilfælde benyttes betegnelsen Add-in, hvilket for undertegnede synes at forekomme mest logisk.

Slutteligt ønsker jeg at bemærke, at jeg med en baggrund inden for geoteknik og bærende konstruktioner ikke har beskæftiget mig med BIM eller IFC før. Eksamensprojektet har derfor åbnet en hel ny og spændende verden.

København, 15. august 2011
Thomas Hansen

SYNOPSIS

I dette eksamensprojekt er undersøgt muligheden for at skabe en IFC-forbindelse mellem et S-BIM program og et udviklet beregningsprogram for bjælkeelementer.

For opnå en forståelse af problemstillingen set i et historisk og teknologisk perspektiv – er byggebranchen kort undersøgt. Resultatet er en branche med behov for standarder og visioner.

Her kan Bygnings Informations Modellering (BIM) være midlet til dette, hvilket er undersøgt nærmere.

Ved kortlægning af IFC-specifikationen er der vurderet muligheden for et succesfuldt resultat af dataudveksling med beregningsprogrammet.

Med S-BIM programmet Tekla er der afprøvet export og import af IFC-filer ved anvendelse af IFCsvr, File Analyzer, Excel og VBA-programmering.

Konklusionen er, at det kan lade sig gøre, at skabe et velfungerende beregningsprogram, men at både IFC-skemaet og software-producenter har arbejde foran sig. Rapporten afsluttes med en konklusion og perspektivering.

Nøgleord:

Bygningsindustrien, standarder, BIM, IFC, Excel, VBA, interoperabilitet

ABSTRACT

This Master's thesis has explored the possibility of creating an IFC connection between an S-BIM program and a developed calculation program for beam elements.

To obtain an understanding of the problem in a historical and technological perspective – the building industry is studied shortly. The result is an industry in need of standards and visions.

Building Information Modelling (BIM) may be the means of this, which is studied in detail.

By mapping of the IFC specification the possibility has been estimated of a successful result of interchange with the calculation program.

With S-BIM program Tekla exporting and importing of IFC files using IFCsvr, File Analyzer, Excel and VBA programming has been tested.

The conclusion is that it's possible to create the proper functioning calculator, but that both the IFC schema and software companies have work to do. The report ends with a conclusion and perspectives.

Key words:

The Construction Industry, BIM, IFC, Excel, interoperability

INDHOLDSFORTEGNELSE

TITELBLAD	1
FORORD	2
SYNOPSIS	3
ABSTRACT	4
INDHOLDSFORTEGNELSE	5
AKRONYMER	8
1. INDLEDNING	9
1.1 OMVERDENEN	9
1.2 RAPPORTENS OPBYGNING	10
OPGAVEFORMULERING	11
2. HISTORIK	12
2.1 INDLEDNING	12
2.2 BYGGEINDUSTRIEN	13
2.3 BYGGEFASENS OPBYGNING	13
2.4 ORGANISERING	14
2.5 TEKNOLOGI/TRADITION	14
2.6 BYGGEKLASSIFIKATION	15
2.7 PROJEKTWEB	15
3. DET DIGITALE BYGGERI	16
3.1 INDLEDNING	16
3.2 DET DIGITALE FUNDAMENT	17
3.3 DANSK BYGGE KLASSIFIKATION (DBK)	19
3.4 DELKONKLUSION 1	20
4. MODELLERING I N^D	21
4.1 3D MODELLERING	21
4.2 4D, 5D OG 6D - MODELLEN	22
4.3 OBJECT-ORIENTED MODELLING (OOM)	23
4.4 INTEROPERABILITET VS INTEGRATION	24
4.5 STANDARDER OG SPECIFIKATIONER	25
4.6 DELKONKLUSION 2	29
5. BUILDING INFORMATION MODELLING	30
5.1 BIM INDLEDNING	30
5.2 BIM APPLIKATIONER	31
5.3 BIM KONSEKVENNS	32
5.4 BIM – CASESTUDIES.	33
5.5 BIM ERFARINGER	36
6. STRUCTURAL BUILDING MODELLERING	38
6.1 INDLEDNING	38
6.2 ADD-IN	38
6.3 DIREKTE LINK	39
6.4 INDIREKTE LINK	39
6.5 UNDERSØGELSER AF ANDRE	40
6.6 ATC-75	41
6.7 FEA/FEM	42

7. INDUSTRY FOUNDATION CLASSES	43
7.1 IFC INDLEDNING	43
7.2 IFC STANDARDEN	45
7.3 IFC VIEWS	46
7.4 EXTENSIONS	46
7.5 IFC OPBYGNING	47
7.6 IFC DEFINITIONER	49
7.7 IFCBEAM	51
7.8 INVERSE ATTRIBUTTER	52
7.9 NOTATION	52
7.10 IFC EKSEMPEL	53
7.11 ANDRE ÅBNE STANDARDER	54
7.12 IFC VIEWER	54
7.13 MODEL CHECKER	54
7.14 IFC SERVER	56
7.15 IFC FILE ANALYZER	57
7.16 IFC KRITIK	60
8. BEREGNINGSPROGRAM	61
8.1. KRAVDEFINERING	61
8.2 MATEMATIKPROGRAM	63
8.3 CELLE-REGNEARK	64
8.4 EXCEL – GRATIS ALTERNATIV	67
8.5 EXCEL - KOMMERCIELLE BEREGNINGSPROGRAMMER	67
8.6 VALG AF BEREGNINGSPROGRAM	68
9. S-BIM MODELLERING	69
9.1 INDLEDNING	69
9.2 TEKLA HISTORIK	69
9.3 TEKLA EXPORT/IMPORT	69
9.4 TEKLA IFC PRIORITETSLISTE	71
9.5 TEKLA OPEN API	72
9.6 TEKLA. KASTELLERET DRAGER	73
10. BEREGNINGSPROGRAM	75
10.1 INDLEDENDE FORKLARINGER	75
10.1.2 OPBYGNING	76
10.1.3 TESTBOX	78
10.1.4 FANE "IFC"	79
10.1.5 FANE "STATIK"	80
10.1.6 FANE "KALKULATION"	81
10.1.7 FANE "RESULTATSKEMA"	82
10.1.8 FANE "HENVISNING"	83
10.1.9 BEREGNINGER OG EUROCODES	84
10.2 BEREGNINGSPROGRAM FOR STÅLPROFILER	85
10.2.1 DATA FANE - INDLÆSNING AF IFC-DATA	85
10.2.2 DATA FANE - AUTOMATISK BEREGNING AF OPSVEJST STÅLPROFIL	86
10.2.3 DATA FANE - TVÆRSNITSKLASSE OG BEREGNINGSMETODE	87
10.2.4 DATA FANE - DIMENSIONERING	88
10.3 BEREGNINGSPROGRAM FOR BETONBJÆLKE	89
10.3.1 FANE "DATA" - INDLEDNING	89
10.3.2 FANE "DATA" – DIMENSIONERING AF BETONTVÆRSNIT	90
10.3.3 FANE "DATA" - DIMENSIONERING AF ARMERING	90
10.3.4 FANE "DIMENSIONERING"	91
10.3.5 FANE "NEDBØJNING"	93
10.3.6 FANE "BØJLER"	94
10.3.7 FANE "ARMERINGSKURVE"	95
10.3.8 FANE "BØJLEARMERINGSKURVE"	96
10.3.9 FANE "PRIS"	97

11. IFC RESULTAT	98
11.1 INDLEDNING	98
11.2 IFC IMPORT TIL STÅL-BEREGNINGSPROGRAM	98
11.3 IFC IMPORT TIL BETON-BEREGNINGSPROGRAM	99
11.4 STÅL – REIMPORT TIL TEKLA	100
11.5 BETON – REIMPORT TIL TEKLA AF GEOMETRI	101
11.6 BETON – REIMPORT TIL TEKLA AF ARMERING	102
11.7 IFC EXPORT AF TVÆRSNITSDATA FRA TEKLA	104
11.8 IFC EXPORT AF UNDERSTØTNINGSFORHOLD	105
11.9 IFC REDUNDANS	106
11.10 IFC FIL-STØRRELSE	106
11.11 IFC TESTMODEL	107
11.12 IFC FORSLAG	108
11.13 DELKONKLUSION 3	109
12. KONKLUSION	110
13. PERSPEKTIVIRING	112
14. REFERENCELISTE	114
15. APPENDIX	118
APPENDIX A: IFCBEAM ATRIBUTTER	118
APPENDIX B: BEREGNINGSPROGRAM FOR STÅLBJÆLKER	118
APPENDIX C: BEREGNINGSPROGRAM FOR BETONBJÆLKER	118
APPENDIX D: VBA-KODE TIL BEREGNINGSPROGRAM	118

AKRONYMER

AEC	Architecture, Engineering and Construction
APV	ArbejdsPladsVurdering (plan for sikkerhed og sundhed)
BIM	Building Information Model
BMF	Beskrivende Mængde Fortegnelse
BIPS	Foreningen for Byggeri, Informationsteknologi, Produktivitet og Samarbejde
CIFE	Center for Integrated Facility Engineering (Stanford University)
CNC	Computer(ized) Numerical(ly) Control(led)
Danske Ark	Foreningen af Danske Arkitekt Virksomheder
DBK	Dansk Bygge Klassifikation
DTU	Technical University of Denmark
FM	Facilities Management
F.R.I	Foreningen af Rådgivende Ingeniører
IDA	Ingeniørforeningen i Danmark
MEP	Mechanical Electrical Plumbing
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning systems
IAI	International Alliance for Interoperability
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes
IKT	Information og KommunikationsTeknologi
ISO	International Standards Organization
LCM	Life Cycle Management
MVD	Model View Definitions
STEP	STandard for the Exchange of Product model data
VBA	Visual Basic for Applications
VDC	Virtual Design Construction
CAD	Computer Aided Design

1. INDLEDNING

1.1 Omverdenen

Trods masser af debat og øget indsats er omfanget af fejl og svigt i byggeriet ikke faldet. For eksempel udgav Erhvervs- og Byggestyrelsen i år 2005 rapporten "Byggeriets handlingsplan mod fejl og mangler", hvori det anslås at de årlige omkostninger forbundet med fejl og mangler i byggeprocessen er på 12 mia. kr.

Både i Europa og USA tyder fremskrivninger på, at der vil være massivt mangel på ingeniører allerede om 10 år. Ingeniørforeningen i Danmark (IDA) fik i år 2008 udarbejdet en prognose, hvori det forventes at manglen vil være på 7.600 ingeniører i år 2015 og mere end 20.000 i år 2025. Dette vil medføre et årligt samfundstab fra 5,6 mia. kroner i år 2015 til mere end 15 mia. kroner i år 2025. NIBS anslår at der i USA kan forventes at mangle over 1 million ingeniører i år 2020.

Undersøgelse af [NIBS, 2007] hæver at digitalisering af AEC industrien kan resultere i besparelser på \$15,8 milliarder per år i USA. I samme retning peger rapporten "Digital forvaltning af bygninger fra vugge til grav" [Cowi, 2009] som hævder, at digitaliseringen kan generere et økonomisk potentiale på 17 milliarder kroner per år i Danmark. Når befolkningsantallet indregnes i de to undersøgelser (cirka 50 gange flere mennesker i USA end i Danmark) er potentialet dog noget forskelligt, hvilket kan skyldes undersøgelsesnes præmisser.

Det næste arkitektoniske "mirakel" medfører mere og mere komplicerede ingeniøropgaver hvor materialer presses til det yderste af deres egenskaber.

Det anslås at hen ved 40% af verdens råmaterialer bliver brugt i bygge- og anlægsbranchen. Af det samlede energiforbrug i den vestlige verden går hen ved 40% til opvarmning. I henhold til [National Institute of Building Sciences, 2007] - går 65,2% af det nordamerikanske el-forbrug til bygningsfaciliteter og står for 20% af alt affaldsmateriale til lossepladser. Endvidere anslø The Construction Industry Institute i 2008, at 57% af udgifterne i byggesektoren, svarende til over 600 milliarder dollars, blev brugt på ikke-værdiskabende indsatser.

Verden oplever et stigende CO₂ udslip, som på de seneste mange globale klimakonferencer har været den altoverskyggende dagsorden. I forbindelse med COP15 i København i 2009 blev der vedtaget en hensigtserklæring med et fælles mål om, at de globale temperaturer ikke må stige mere end 2 grader som følge af menneskeskabte klimaforandringer. Målet søges nået gennem udbygning af CO₂-neutrale og vedvarende energikilder (sol- og vindenergi).

Den danske regering har i flere omgange udtrykt ønske om i fremtiden at blive uafhængig af fossile brændstoffer (kul/olie/gas) og Energistyrelsen har i forbindelse med de sidste 10 års tillæg til bygningsreglementer tilføjet skærpede krav til bygningers energiforbrug og i år 2020 er hensigten, at der kun skal opføres såkaldte passivhuse.

Noget kan altså tyde på, at der ligger en betydelig miljømæssig, arbejdsmæssig og økonomisk gevinst ved det digitale byggeri samt at nye redskaber skal tages i brug.

1.2 Rapportens opbygning

På baggrund af indledningens oplistning af "udfordringer" for byggeindustrien – er denne rapport opdelt i flere kapitler. Formålet med gennemgangen af problemstillingerne er at afdække den kontekst eksamensprojektet er i. Med ønsket om "Udvikling af IFC-kompatibelt dimensioneringsprogram" bliver der kigget på byggebranchen i et historisk og teknologisk perspektiv, hvor hvert kapitel vil rykke gradvist tættere på opgaveformuleringen. For bedst mulig forståelse af rapporten bør kapitlerne derfor læses fortløbende. Rapporten er opdelt i følgende kapitler:

1) Indledning

Efter indledning og nærværende afsnit om rapportens opbygning følger opgaveformuleringen.

2) Historik

Kapitel omfatter et litteraturstudium af byggeriets udvikling og organisering.

3) Det Digitale Byggeri

Der gives en gennemgang af Det Digitale Byggeri og de initiativer som blev taget i perioden.

4) Modellering og standarder

Med dette kapitel flyttes perspektivering til nyere tid. Der kigges på udviklede redskaber samt behovet for interoperabilitet og standarder.

5) BIM

Building Information Modelling undersøges som begreb, mulighed og konsekvens. Kapitlet indeholder også et litteraturstudie af diverse aspekter ved BIM.

6) S-BIM og FEM

I dette kapitel rykkes tæt ind på ingeniøren og de strukturelle BIM værktøjer. Der gives en kort introduktion til forskellige aspekter og muligheder ved S-BIM.

7) IFC

Kapitlet indeholder en analyse af IFC specifikation. Ved arbejdet med udvikling af dimensioneringsprogrammet søges også at afdække potentialet i brug af IFC.

8) CAS/Excel

Her kigges på mulige applikationer for beregningsprogrammet. Der foretages en analyse af fordele og ulemper samt et valg.

9) Tekla

Der gives en kort introduktion til Tekla og mulighederne for IFC-export. Endvidere kigges på Tekla Open API, som er afprøvet som alternativ til IFC.

10) Beregningsprogram

Det udviklede beregningsprogram med IFC interface beskrives ved gennemgang af opbygning og forklarende eksempler.

11) Resultat

I dette kapitel diskuteres indholdet præsenteret i de foregående kapitler. Resultater tolkes med henblik på at drage en holdbar konklusion.

12) Konklusion og perspektiv

I dette kapitel sammenfattes vigtigste resultater fra eksamensprojektet og afsluttende kommentarer er givet.

OPGAVEFORMULERING

Der ønskes gennem eksamensprojektet, at godtgøre muligheden for at udvikle et regneprogram for bærende konstruktionselementer af beton og stål, som igennem IFC-standarden kan udveksle informationer med en BIM-model.

Antagelsen er, at der gennem udvikling af et regneprogram vil være mulighed for at udnytte potentialet i IFC-standarden, da tidligere studier viser at flere professionelle regneprogrammer har problemer med at indhente relevante data.

Ved programmeringssprog VBA ønskes en dimensioneringsproces, som giver mulighed for ændring og korrigerende af beregninger under hensyntagen til diverse krav. Dette kunne være arkitektoniske ændringer, konstruktive hensyn eller ønsket om en optimering af materialeforbruget ud fra økonomiske betingelser. Derfor ønskes der også udviklet formler i regnearkene, som automatisk vil søge en minimering af materialeforbrug samt foretage en prisanalyse.

Det vil endvidere være målet, at opstille beregningerne på en sådan måde, at regneprogrammerne vil give en øget indsigt i materialeparametrenes indflydelse på resultatet samt at der gennem et mindre indbygget statikprogram samt en database for materialer og standardprofiler fra fx Teknisk Ståbi - kan opnås en helhedsløsning, således at al dimensionering og opdatering af BIM-model alene kan foretages fra regneprogrammerne.

Ovenstående sammenfattes i følgende projekttitel:

”Udvikling af IFC-kompatibelt dimensioneringsprogram”

Med tilhørende engelske oversættelse:

”Development of a IFC-compatible program for design of structural elements”

Afgrænsning:

På baggrund af en vurdering af relevans og tid vil dele af beregningerne for de bærende konstruktioner efter samråd med vejleder blive udeladt. Da det forudsættes at læseren har et kendskab til beregning af bærende konstruktioner – vil teorien af tidsmæssige årsager kun blive berørt kort. Den anvendte teori kan tilegnes i kurserne Betonkonstruktioner og Stålkonstruktioner 1 og 2.

2. HISTORIK

2.1 Indledning

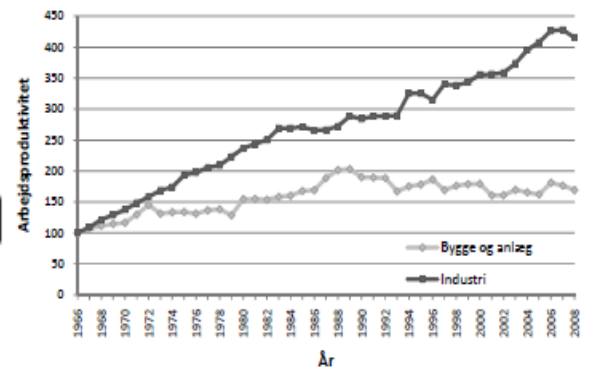
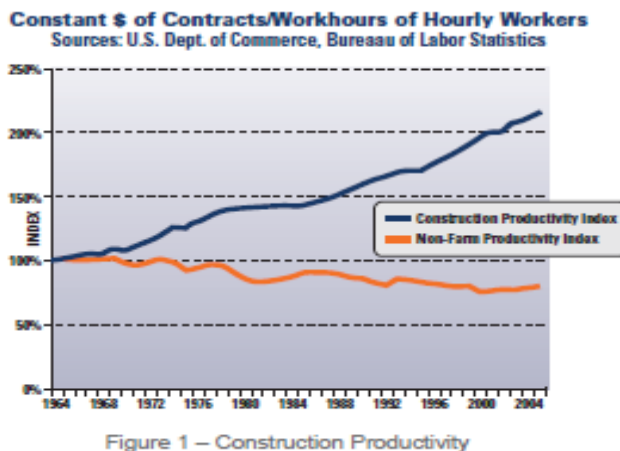
Den teknologiske udvikling har altid medført forandringer. Men hvor det tidligere har været som forbedringer af eksisterende løsninger, som mennesker har kunnet forholde sig til – har ændringerne de sidste årtier haft revolutionerende karakter. Selv fysisk kontakt mellem mennesker er delvis afløst af en elektronisk.

Masser af industrier har taget den seneste teknologi til sig, hvilket både kan være aftvunget af krav om overlevelse eller lyst. Bilindustrien er måske et af de bedste eksempler.

Byggebranchen har taget teknologi til sig, men dette også i form af løsninger som virker enkeltstående og uden koordination for et samlet hele. Branchen virker ellers præget af folk, hvor specielt ingeniører plejer at have en forkærlighed for teknik.

Men i modsætning til mange ting i hverdagen, hvor de fleste folk kan overskue at genstande bliver mere komplicerede (selvom producenter slår på det modsatte argument) – så er en byggesag i forvejen en kompliceret proces – som mange føler bliver gjort endnu mere kompliceret.

Denne generelle holdning og implementering af halve løsninger har medført at byggebranchen i de sidste 10 år har haft et fald i produktiviteten. Et fald som bliver endnu større når det sammenholdes med en generel stigning i næsten alle andre brancher, hvilket kan aflæses af nedenstående figurer.



Figur 1-2 Udvikling i arbejdsproduktivitet for Bygge og anlæg hhv. Industri, år 1966–2008 i faste 2000-priser, indekseret (Danmarks Statistik 2010).

Figur 1: Faldende produktivitet i byggeriet (USA). Figur 2: Faldende produktivitet i byggeriet (DK).

2.2 Byggeindustrien

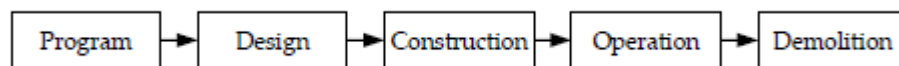
I modsætning til bilindustrien er byggeriet præget af produktion af et "engangsprodukt". Og selvom bilfirmaer også har underleverandører samt skal forholde sig til love og regulativer – så betyder en opstart af et nyt byggeri igen kontakt til statslige og kommunale myndigheder, banker, realkreditinstitutioner, forsikringsselskaber, byggetekniske, juridiske og økonomiske rådgivere, entreprenører, håndværkere, leverandører, transportører og producenter.

Og mellem disse kontakter produceres der et hav af dokumenter med hver sit formål og specifikke indhold om byggesagen. Dette kan være tegninger, beregninger, beskrivelser, referater, juridiske betingelser, materiale- og arbejdsydelse i økonomiske, kvalitets- og tidsmæssige aspekter. Dertil findes underinddelinger i budgetter, tidsplaner, byggeregnskaber, registrering af timeforbrug og acontobegæringer, APV-, IKT- og KS-dokumenter, detailtegninger, ect. Ydermere bliver mange af disse arbejder så også udført i hver af byggeriets faser med stigende detaljeringsgrad (indtil nedrivningsfasen). Endvidere udarbejdes der licitationspapirer, aftalesedler, styklister, afkaldeplaner og mangellister mm.

Der er således brugt anselige resurser længe inden den første "mursten" er sat, og som tidligere omtalt tyder undersøgelser på, at over halvdelen af ressourcerne bliver brugt på ikke-værdiskabende arbejde.

2.3 Byggefases opbygning

Den nuværende organisering i byggebranchen er i høj grad dikteret af de kontraktuelle bestemmelser/betingelser fra AB92, ABT93 og ABR89; og det traditionelle arbejde med bygningsdata og bygningsinformationsmodeller afspejler denne organisering [Jensen & Lemming, 2009]. Forløbet af et byggeri har ikke ændret sig i nyere tid og ser stadig ud som på nedenstående figur 3.



Figur 3. Byggefases opbygning

Programfasen (Program)

Denne fase er inddelt i to underfaser: byggeprogram og dispositionsforslag.

Gennemførlighedsundersøgelser foretages i henhold til specifikationskrav, tidsplan og økonomi. Deltagere er bygherre, rådgiver (oftest arkitekt), eventuelle brugere samt offentlige myndigheder.

Projekteringsfasen (Design)

Denne fase er inddelt i to underfaser: forprojekt og hovedprojekt, hvor de tekniske løsninger udvikles og detaljetegninger skabes. Deltagerne fra programfasen er stadig med, men projektet domineres nu af arkitekter, forskellige fagingeniører og tekniske tegnere. Oplysninger om geometri og materialer ændres løbende.

Anlægsfasen (Construction)

Byggeriet opføres. De primære deltagere er entreprenørerne med tilsyn fra arkitekter og ingeniører. Oplysninger kan ændres grundet sparerunder.

Driftsfasen (Operation)

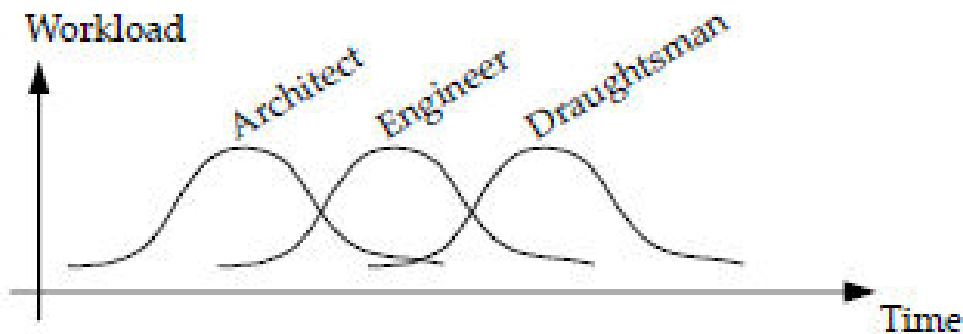
Byggeriet finder anvendelse efter sit formål, som dog godt kan ændre sig ad åre. Deltagere i denne fase er brugerne og eventuelt bygherren (firma). I denne fase tilses byggeriet af rådgivere ved 1 og 5 års eftersyn. Oplysninger om drift- og vedligeholdelse kan ændres.

Nedrivningsfasen (Demolition)

Til nedrivning kræves oftest planlægning i byområder. Deltagerne her kan være andre ingeniører og entreprenører end dem, som var involveret i de foregående faser.

2.4 Organisering

Langt de fleste arkitekter og ingeniører deler ikke kontor. Dette skyldes tradition og måske en forestilling om 2 verdener, hvor arkitektens er den kreative og ingeniørens er den mere stringente. Det binder også i deres eventuelle funktion i en byggesags opbygning, hvor en bygherre i større projektorganisationer kan have tilknyttet selvstændige (bygherre)rådgivere. Der kan også være et ønske om entydige ansvarsfordelinger, som kan have juridiske bevæggrunde. Selv i mange ingeniørfirmaer er der fysisk adskilte konstruktions- og HVAC-afdelinger. Således haves projekthold af arkitekter, fagingeniører og entreprenører, som per tradition har hver deres definerede opgave, hvilket er medvirkende årsag til forskudte arbejdsbelastninger for projektholdets deltagere i forhold til tid, hvilket illustreres ved nedenstående figur 4:



Figur 4: Traditionel arbejdsgang hvor arbejdsbelastninger er forskudt i tid [Eastman, 2008]

2.5 Teknologi/Tradition

Byggesektoren er traditionsbunden. Dette kan skyldes, at byggehåndværk kan betragtes som et fysisk håndlag, hvor redskaber (og teknologier) til dette langsomt har vundet indpas gennem hundredvis af år. Branchen trækkes stadig af mundheld om at alting var bedre i gamle dage, hvilket kan være medvirkende årsag til at store dele af entreprenørbranchen ikke er kommet med på IKT.

Men gennem det seneste årti er computerteknologi implementeret for overhoved at kunne deltage i tilbudsgivning og kunne gennemføre de tekniske løsninger. En optimering af byggeprocessen ved hjælp af computerteknologi er således i gang [Linderoth, 2010].

2.6 Byggeklassifikation

SfB-systemet (Samarbetskomitén för Byggnadsfrågor) blev oprindeligt udviklet for klassificering og kodning af den svenske standardbeskrivelse Bygg-AMA, og blev første gang anvendt omkring år 1950. I Danmark udviklede IBB i 1988 en lagstruktur for filer og kodningsprincipper i CAD-filer som inkluderede SfB's fagkode. Denne reference model kunne forbinde forskellige modeller i og uden for AEC industrien [Chadha et la., 1994]. Til navngivningen af filer opererede man med 7 positioner. Dette var indtil år 1995 aftvunget af, at Microsoft DOS-styresystemet maksimalt kunne håndtere 8 positioner i filnavne efterfulgt af "." og 3 positioner for angivelse af filformat.

Og i praksis var der tit problemer med kodning af byggevarer, fordi systemet ikke alene blev skabt med dette formål for øje. Der blev ikke foretaget en grundlæggende dansk opdatering, hvilket betød at angivelser af nye konstruktioner, anvendelser og materialer tit manglede den fornødne detaljeringsgrad samt at dobbeltkodning forekom.

Samtidig eksisterede der en bygningsdelstavle, den såkaldte "20 punktsliste", der specielt var populær i de offentlige byggeforvaltninger.

Vvs-branchen har også et system til kodning af varenumre. Fra starten af 1970'erne udviklede Rørforeningen en database, der via en struktureret nummeropbygning inddelte de vvs-produkter, som blev solgt gennem foreningens medlemmer (de danske vvs-grossister).

Mange har til tider fundet det problematisk, at ophavsretlighederne til et "halvoffentligt" system med vvs-numre kun tilhører Rørforeningen⁶.

På baggrund af disse vvs-numre blev siden udviklet de kendte V&S prisbøger med brutto- og nettopriser, som i dag findes i en elektronisk udgave som V&S prisdata/Sigma.

2.7 ProjektWeb

Et af de første rigtige initiativer til organisering og strukturering af dokumenter og tegninger – var med oprettelse af projektweb. Nogle af de første forsøg fandt sted hos Rambøll omkring år 1997. Mange oplevede dog problemer med nedbrud af netværk eller for langsomme computere og internethastigheder.

(6) www.konkurrencestyrelsen.dk/index.php?id=22404

3. DET DIGITALE BYGGERI

3.1 Indledning

Udbredelsen af CAD-programmer blandt først ingeniører og siden arkitekter i 1990'erne medførte flere offentlige initiativer fra blandt andet Teknologirådet og Boligministeriet. Ambitionsniveauerne var høje og omhandlede alt fra IT-kultur, GIS, BBR, CAD - til E-handel. Selv om der blev sået mange gode frø – så blev der ikke høstet rigtig i byggebranchen. Når der kigges på næsten alle andre brancher så har de initiativer der taget - skabt masser af vækst og nye forretningsområder, som har revolutioneret verden.

Dette førte igen til at 'omverdenen' kiggede på byggebranchen. Erhvervsfremmestyrelsen udgav rapporten "Bygge/Bolig" i år 2000 – og rettede en skarp kritik af udviklingen inden for byggeriet. Produktiviteten var faldende, byggeomkostningerne var for høje, kvaliteten af byggerierne var for lav, der var for mange fejl og for meget byggesjusk.

Den danske regering nedsatte derefter en taskforce, der skulle undersøge konklusionerne i ovenstående rapport. Gruppen fandt frem til, at der lå store muligheder for produktivetsforbedringer i grænseovergangene mellem arkitekt/ingeniør/entreprenør. Hvis den rigtige information ville være til stede - kunne ressourcer bedre udnyttes, spildtid mindskes og kvaliteten af byggeriet øges.

Resultaterne skulle bruges til noget - og der blev i år 2001 nedsat en visionsgruppe, som udgav "Rapporten om Det Digitale Byggeri", i hvor tanker om retningslinier og standarder for IT blev gjort.

I forbindelse med regeringens konkurrenceevnepakke "Vækst med vilje" for det danske erhvervsliv i år 2002 blev der afsat 20 millioner kroner på finansloven over 3 år til projektet "Det Digitale Byggeri". Kravet var en privat medfinansiering på samme beløb, hvoraf RealDania skød 10 millioner i projektet.

I år 2003 formulerer regeringen en ny bygherrepolitik i "Staten som bygherre - vækst og effektivisering i byggeriet". De statslige bygherrer skal ved kravstillelse være drivkraften bag digital implementering og herved medvirke til at gennemtvinge nødvendige forandringsprocesser ved at stille krav over for byggeriets parter om digital udbud, 3D modellering, projektweb og digital aflevering.

Udviklingen af det digitale byggeri var i gang.

3.2 Det Digitale Fundament

Foreningen Bips, som organiserer de største rådgivere og entreprenører, får af Erhvervs- og Boligstyrelsen i år 2003 tildelt opgaven at gennemføre indsatsområdet Det Digitale Fundament (DDF). I årene 2004 til 2006 gennemføres projekter i et samarbejde mellem staten, BIPS og forskellige konsortier. Resultatet blev til de statslige byggeherrekrav, som trådte i kraft 1. januar 2007 og formuleret ved nedenstående 10 punkter for nybyggeri²:

1. Brug af projektweb i byggeprojekter
2. Projektweb-løsning
3. Tegningsformat
4. Anvendelse af bygningsmodel i konkurrence
5. Anvendelse af bygningsmodel
6. Standardisering af udbudsmateriale og beskrivende mængdefortegnelser
7. Elektronisk udbud af udførelsesentrepriser
8. Digital aflevering af forvaltningsdata
9. Omfang af digital aflevering af forvaltningsdata
10. Fremgangsmåde ved digital aflevering

Fra år 2008 omfattede kravene også renovering samt om/til-bygninger. Bekendtgørelse 1365 er efterfølgende blev ændret i nogle omgange. For eksempel er beløbsgrænsen nedsat fra 40 til 20 mio. kroner i krav 4 og 5 om bygningsmodeller. Kravene om digitalt udbud med mængder (krav 6) trådte først i kraft pr. januar 2009. Bekendtgørelse 1365 blev ophævet og erstattet af Bekendtgørelse³ 1381 per 1. marts 2011.

I nedenstående underpunkter beskrives kort indholdet af de statslige byggeherrekrav:

1+2. Projektweb

En projektweb er en adresse på internettet, hvor bygherrer, rådgivere, entreprenører og leverandører kan indlægge og hente opdaterede informationer, herunder aftaler, beskrivelser og tegninger til brug for principielt alle faser af byggeriet. I dag har udbredelsen af internettet og byggebranchens stadig stigende digitalisering ændret udseendet på projektweb markant. Fra 1990'ernes simple filservere er projektweb nu et avanceret værktøj til at kontrollere processer omkring projektsamarbejde, vidensdeling og dokumentation. Projektwebbens indhold opbygges systematisk efter en (aftalt) mappestruktur og lock-filer afslører alle bevægelser.

3. Tegninger i A3

De projekterende skal udføre alle arbejdstegninger så de kan udprintes i A3-formatet.

4+5. Bygningsmodel

Bygherren skal forud for et hvert nybyggeri vurdere, om der skal stilles krav i konkurrencer eller til de projekterende om at opbygge en digital bygningsmodel. Ved byggerier over 20 mio. kr er 3D modellen obligatorisk, og entreprenøren skal kunne udtrække oplysninger om mængder mv. af modellen. Modellen skal kunne udveksles i IFC-format.

[2]. En nærmere definering af krav findes i "Vejledning til bygherren og rådgiveren - Anvendelse af IKT.

[3]. <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=134884>

6. Beskrivende mængdefortegnelse og standardisering af udbudsmateriale

Bygningsdelsbeskrivelser udarbejdes af rådgiver efter principperne i bips B.1000. Udbudsprojektet skal indeholde en beskrivende mængdefortegnelse (BMF), struktureret i henhold til Dansk Bygge Klassifikation, som opgør de mængder (længder, stykker, arealer, ydelser etc.), som de bydende skal enhedsprissætte i deres tilbud. Hvis der til byggesagen opbygges en 3D model skal entreprenøren kunne trække sine mængder ud af modellen og mængder kan overføres direkte til priskalkulationssystemer. Bips F110 danner grundlag for opmålingen. Som ansvarsforholdene er fastlagt i de almindelige betingelser (AB92), skal de bydende dog fortsat verificere, at deres tilbud indeholder alle de leverancer og ydelser, der skal til for at opføre byggeprojektet.

7. Digitalt udbud, tilbudsgivning og licitation

Udbud af udførelsesentrepriser gennemføres typisk på byggesagens projektweb eller en hjemmeside skabt til formålet, hvor beskrivelser, tegninger, BMF og tilbudsliste skal være tilgængeligt i udbudsperioden.

Tilsvarende foregår tilbudsgivningen ved at den bydende uploader sin udfyldte tilbudsliste med eventuelle forbehold eller alternative forslag på webstedet og bekræfter sin identitet med en digital signatur.

På tidspunktet for licitationen offentliggøres de indkomne tilbud samtidigt for bygherren og de bydende. Efter licitationen får den vindende entreprenør 3 uger til at verificere rådgiverens mængder. Er der uoverensstemmelser mellem rådgiverens og entreprenørens opgjorte mængder, gennemgår man dem og finder en passende justering af mængderne, inden ansvaret overdrages entreprenøren.

Digitalt udbud og tilbud skal afhjælpe mange af de fordyrende fejl, som mange gange opstår i tilbudsgivningen. Elektronisk udbud ændrer intet ved de grundlæggende forhold omkring tilbudsgivning og licitation, da tilbudsloven og EU udbudsdirektivet stadig er gældende.

8. Digital aflevering af drifts- og vedligeholdelsesdata:

Bygherren skal identificere hvilke driftsrelevante data fra byggeprocessen, der ønskes afleveret digitalt sammen med byggeriet. Blandt de medvirkende parter udpeges en ansvarlig for afleveringen. Den fysiske aflevering sker under anvendelse af digitale mangellister i overensstemmelse med Bips-standarden [Dansk Byggeri].

9. Dokumenter og model:

Den digitale aflevering omfatter såvel dokumenter som datamodel.

10. Valg af afleveringsformat:

Bygherren skal vælge, om de driftsrelevante data skal afleveres enkeltvis i XML-format, som samlet model i IFC-format - eller indtastes direkte i drifts- og vedligeholdelsessystemer.

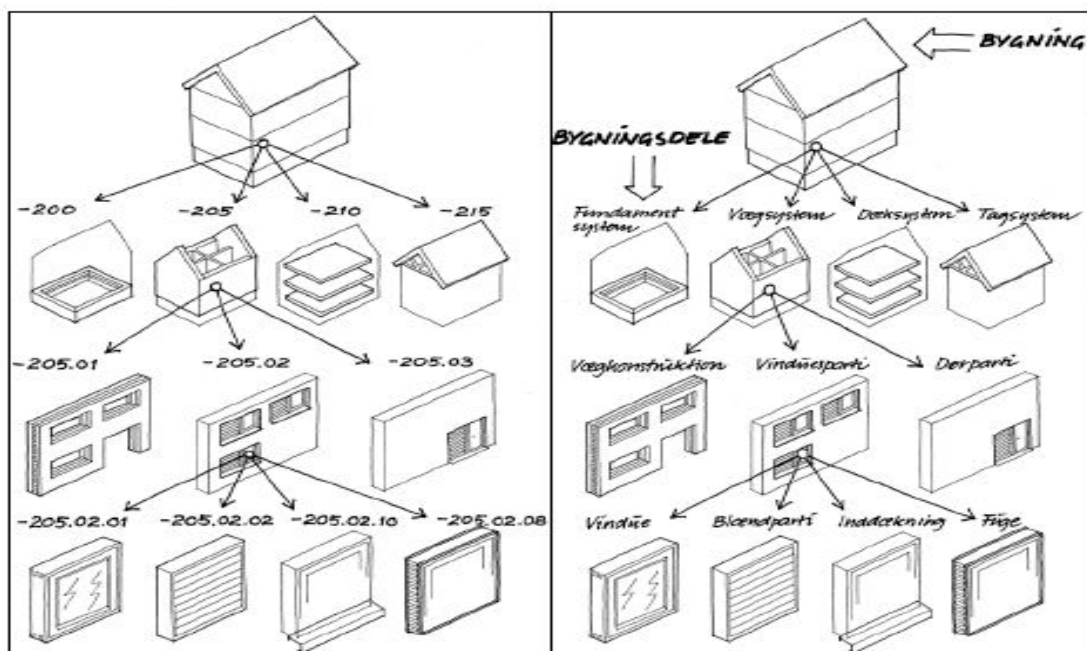
3.3 Dansk Bygge Klassifikation (DBK)

Som en del af DDB udviklede Foreningen Bips en ny fælles de facto standard – Dansk Bygge Klassifikation (DBK), som afløser for det tidligere nævnte SfB-system. Systemet skulle være velegnet til brug i hele den digitaliserede byggeproces fra idé til bortskaffelse.

Da ønsket var et dansk klassifikationssystem, der så vidt muligt skulle være internationalt kompatibelt - blev DBK baseret på ISO 12006-2 standarden - lige som det amerikanske OmniClass og det engelske UniClass samt på DS/EN 61346 og 61355. Derfor opdeles begreberne tilsvarende i ressourcedomænet, procesdomænet, resultatdomænet samt egenskabsdomænet. Ressourcerne (materialer, erfarings- og byggeinformation og aktører) anvendes i processerne (byggeriets faser og livscyklus) til at skabe resultater (bebyggelser, bygninger, brugsrum bygningsdele), og til alle elementerne knytter sig en række egenskaber (konkrete såvel som abstrakte). Den valgte opbygning skulle sikre entydig repræsentation af information [Bips 2006]. DBK omhandler nu mest bygninger, men vil med tiden udvides til også at gælde for større anlægsarbejder.

Tanken med referencestrukturen er at en bygning nedbrydes til mindre systemer eller dele - så selv den mindste bygningskomponent (fx en vinduesfuge) – kan nummereres ud fra 4 aspekter:

Produkt - Placering - Funktion – Form.



Figur 5: DBK kodningsprincip (fra bips.dk)

Det virker som om AEC-branchen har svært ved at tage DBK til sig. Et af problemerne er, at DS/EN 61355 og DS/EN 61346 ikke er internationale standarder – så derfor er DBK ikke egnet til internationale projekter. Hvis DBK skal fungere med andre internationale standarder, så kan IFD være løsningen Ifølge [Digital Konvergens 2008] er der gennemført flere testforsøg i erkendelse af behov for videreudvikling og tilpasning. Et andet problem synes at være tolkningen af DBK koderne, da samme type bygningsmateriale tildeles forskellige DBK koder afhængigt af anvendelse.

3.4 Delkonklusion 1

Dette kapital synes at dokumentere en fragmenteret byggeindustri, som ikke trækker i samme retning og trods entydige resultater fra hele verden om faldende produktivitet udtaler BAT-kartellet i rapporten "Produktivitet i Byggeriet" fra år 2010:

"Der er ingen tvivl om, at produktiviteten i byggebranchen på trods af myter og fordomme har udviklet sig positivt gennem årene."

Nu har håndværkerne ikke skylden alene og fokus i dette eksamensprojekt er rettet mod projektering af byggerier, men den manglende forståelse for en "fælles sag" i byggebranchen synes at være et stort problem.

I de kommende kapitler må dette problem undersøges nærmere, da det forekommer vigtigt at forstå den kontekst som eksamensprojektet er underlagt.

4. MODELLERING I N^D

4.1 3D modellering

3D har altid været målet. Visualiseringsmodeller i træ og ler har formentligt eksisteret siden menneskeheden har bygget - og således er nyere tids præsentationsmodeller fra arkitekter i papir, pap og flamingo et gammelt håndværk.

"De tegninger, vi traditionelt anvender, er i princippet også modeller. Modeller er i bund og grund beskrivelse af problemstillinger ved hjælp af symboler og sammenhænge. En 2D tegning kan således betragtes som en model af en 3D tegning. Vi skal således i denne sammenhæng betragte bygningsmodellerne som en beskrivelse af den virkelige verden, som vi også kender det fra matematiske modeller." [Bertelsen et la., 2003]

Det eksplosive salg af CAD-programmer, ikke kun til byggeprocessen, medførte allerede i sidste halvdel af 1990'erne, at softwareudviklere kastede sig over en automatisering af 3D-modelleringen. Allerede i daværende udgaver af Autodesk's AutoCad (12/13/14) var det muligt at extrudere geometriske figurer, men funktionen blev ikke brugt så meget, da omfanget af arbejdet var for stort. Så arkitekter fortsatte en efterligning af 3D ved at påføre skygger og stencilfarver sågar i udprintede 2D-tegninger.

I Skandinavien blev udviklet en 3D-applikation til AutoCad kaldet "Point", hvor man fra en indlagt database kunne hente bygningselementer ind i sin tegning. Objekterne var primitive og kunne ændres på få parametre. Ofte blev "Point"-objekter, som vvs-dele eller bygningsinventar, da også kun brugt til generering af tegninger i 2D. En del ingeniører og programmører arbejdede på en automatisering af den tekniske tegneprocess ved brug af AutoLISP.

Igen var det nærmere produktionsindustrien som viste vejen frem. Gennem indførelse af computere og robotter i samkøring med industrielle processer blev der opnået enorme rationaliseringsgevinster. CAD-programmet ProEngineer blev af maskiningeniører brugt til udveksling af data med CNC-maskiner til storproduktion af emner i stål og plastik.

For konstruktionsingeniører har bygningers bæreevne altid skulle eftervises rumligt. Således har det aldrig givet mening kun at regne på skive- eller rammekonstruktioner kun i 2D, da bygningselementerne i sig selv er rumlige og da naturens kræfter på et bygningsværk altid vil angribe i 3 dimensioner (højde eller dybde x bredde x intensitet). Ydermere kan tid tilføjes som dimension i beregninger.

Omkring tusindskiftet blev 1990'ernes 2D-rammeprogrammer afløst af 3D-beregningsprogrammer. Herhjemme var MISTRA fra Dansk Konstruktions Analyse det første program som kunne simulere statiske påvirkninger i 3D. Internationalt skete der en udvikling fra et DOS- til Windows baseret brugerinterface, hvilket gjorde det meget lettere at anvende statik-programmer. Tidligere skulle konstruktionselementers koordinatpunkter indtastes manuelt og en præcis syntaks skulle overholdes - ellers fungerede programmerne ikke rigtigt. Angivelse af laster (retning og kombinationer) samt samlinger (fx chanier) var ligeledes et minutøst arbejde, som via en txt-fil (Notepad) skulle overføres til et statik-program. Således var muligheden for fejlindtastninger store, hvilket kunne medføre usikkerhed om det statiske resultat. Dette er dog stadigvæk gældende, men med automatisering og et langt bedre grafisk interface - er de visuelle kontrolmuligheder forøget.

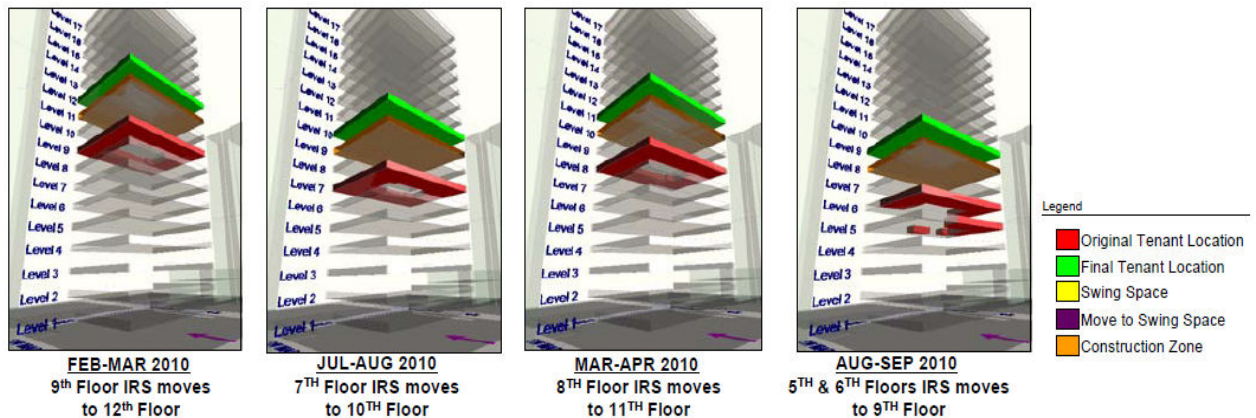
Flere undersøgelser af bla. Øksengaard, Karlshøj og Bips tyder gennem interviews og spørgeskemaer på, at 3D-modellering efterhånden er optaget som arbejdsinstrument og rutine i danske arkitekt- og ingeniørfirmaer.

Således synes vejen i byggebranchen, at være gået fra en oprindelig 3D-model til en 2D-model, som siden fik tilført objekter - og tilbage til modellering i 3D.

4.2 4D, 5D og 6D - modellen

I de sidste 10-15 år er der arbejdet intenst på udvikling af ekstra dimensioner til 3D-modellen. Resultatet er ikke blot tilføjelse af tid eller økonomi som dimension, men næsten vigtigere en samkøring og udnyttelse af eksisterende viden og muligheder.

4D modellering er den fjerde dimension, hvilket betyder at objekt og tid forbindes. I 3D kan et objekt bestemmes ved sted, størrelse og form (x, y, z). Med tid som den fjerde dimension kan det nu også bestemmes, hvornår et objekt vil være på et bestemt sted (x, y, z, t) [GSA, 2009]. Hvis der projekteres med 3-dimensionelle objekter, så er opgraderingen til en 4D-model ikke så stor. Opgraderingen indebærer primært, at objekterne tildes yderligere information f. eks. i form af tidsvarighed for transport og installation på byggepladsen. Hvis der skulle opstå leveringsproblemer med et bestemt element – så vil en ændring af tidsplanen nemt kunne laves i programmet, og andre opgaver kan automatisk skubbes frem i tid. Implementering af 4D kunne derfor tale for, at entreprenører skal involveres tidligere i projekteringen.



Figur 6: Computersimulering af tidsplan for arbejds gange

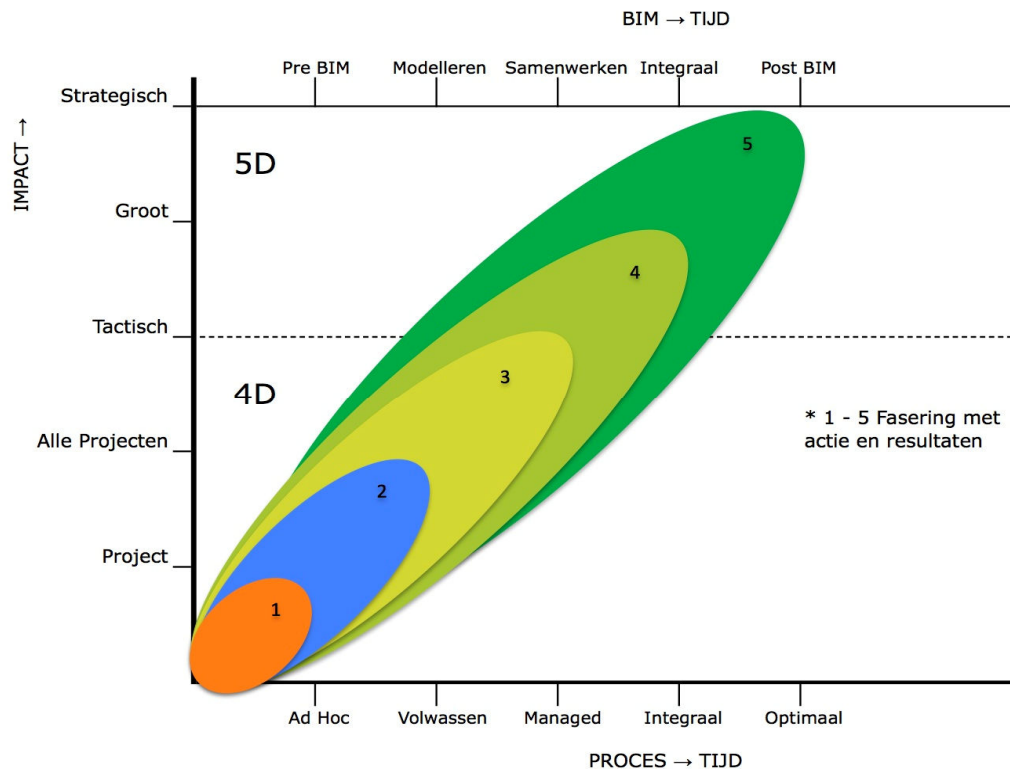
5D modellering betyder, at objekt, tid, og omkostninger forbindes. I 4D, kan et objekt bestemmes ved sted, størrelse, form og tid (x, y, z, t), men der fortælles ikke noget om hvor meget det vil koste at få et bestemt objekt placeret et bestemt sted på et bestemt tidspunkt. Med omkostningerne tilføjet er dimensionen ved 5D modellering således (x, y, z, t, kr.).

Fordelen ved den femte dimension er, at hvis oplysninger om pris knyttes til objekter - så vil man ved at udtrække mængder kunne bestemme de samlede byggeomkostninger. Materialeomkostninger, lønomkostninger og transportomkostninger kan også specificeres separat. Der mangler dog stadig en standardisering af, hvordan omkostningerne skal bestemmes og 5D kræver mere specialiseret software [GSA, 2009] samt en ændring af tankegang [Nguyen, 2010].

Søgning på internettet viser, at den sjette dimension kunne omhandle akustik eller varme, personsikkerhed, facilities management (FM) eller livscyklus-betragtninger (LCA, LCC og LCM). Mange firmaer reklamerer derfor også med 7D, 8D, 9D, 10D og 11D-løsninger, men af [Lighthart, 2010] udtrykkes følgende kritik:

”Markedet er fuld af software rettet mod 'D's' af BIM. Alt buzz omkring dem er at henlede opmærksomheden fra de større problemer BIM har: Interoperabilitet og standarder for objektmodellering.”

Hollandske 4dbimteam ser værdien af de ekstra dimensioner på følgende måde:



Figur 7: 4dbimteam [<http://www.bim-i.nl>]

4.3 Object-Oriented Modelling (OOM)

Det egentlige nye i modellering i flere dimensioner er udviklingen af objekter med egenskaber. Også her må andre brancher som bil-, film-, spil-, animationsindustrien siges at have været bannerførere. I byggeriet er OOM af bygningselementer så som plader, skiver, bjælker og søjler – ved attributter tilføjet information. Dette kan være lige fra navngivning af objektet samt oplysninger om objektets geometri, materialeegenskaber og om relationer til andre objekter. Se endvidere [Bips, 2006]. Et eksempel på et "intelligent" objekt kunne være en søjle, hvis længde tilpasser sig ved ændring af dimensionen på den overlæggende bjælke. Tidligere ville en beregning af en ny bjælkehøjde medføre gentegning af både bjælke og søjle, hvilket kunne ske flere gange i løbet af en byggeproces.

I [BuildingSMART,13-2010] omtales et forskningsprojekt fra Norge som viste, at fra idé til byggeri - bliver tegningmaterialet i gennemsnit genereret syv gange. I hver af disse regenereringer, kan der ske ændringer eller nye fortolkninger og spørgsmålet er, hvor meget af den oprindelige idé som overlever processen.

Det nye er således at gentegningsprocessen ikke blot er reduceret, men helt elimineret. Følgeeffekten af disse objekt-links er desuden et mere smidigt projekteringsforløb med andre softwareprogrammer inden for både AD og HVAC. Alle væsentlige CAD-programmer indeholder i dag en database med objekter for OOM.

4.4 Interoperabilitet vs Integration

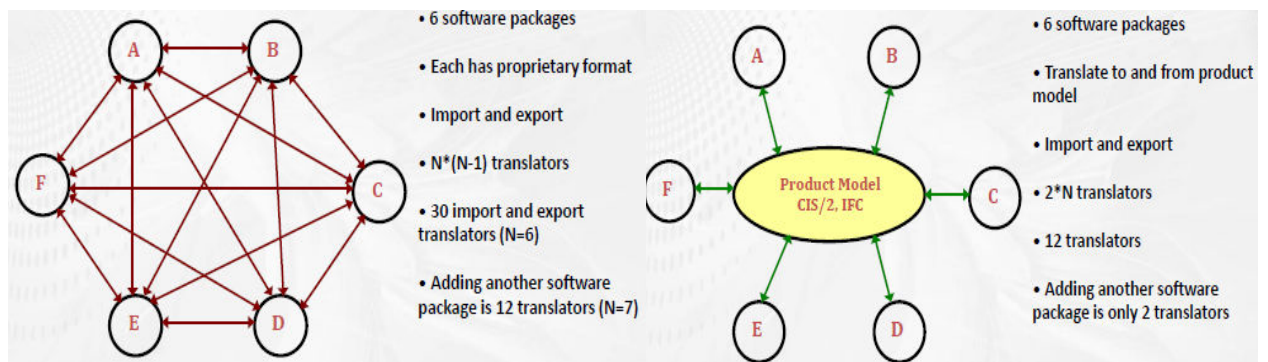
"Software interoperabilitet er problemfri dataudveksling mellem forskellige applikationstyper, som hver kan have sin egen interne datastruktur. Software integration er et særligt tilfælde af interoperabilitet, hvor den samme datamodel anvendes i særskilte applikationer eller hvor en særlig integration mellem to applikationer har fundet sted" [NIBS, 2007].

Ifølge [Gallaher et al, 2004] er interoperabilitet defineret som "evnen til at lede og kommunikere elektronisk produkt- og projektdata mellem samarbejdende virksomheder, og i de enkelte virksomheders design, konstruktion, vedligeholdelse og business processsystemer".

De fleste software-programmer er oprindeligt udviklet til at arbejde som selvstændige programmer, og derfor ikke designet til at dele data med andre programmer [Young et al., 2007]. Denne proprietære datastruktur, som ikke giver adgang til databaseforbindelse via en standard - skaber den største udfordring for interoperabilitet [Douglas, 2010].

Spørgsmål om interoperabilitet i AEC industrien kan ikke løses uden et sæt regler og principper for klassificering af oplysninger ved dataudveksling grundet kompleksiteten af BIM-modeller, en bred vifte af fagspecialer og den stigende mængde software applikationer [NIST, 2010].

Som anskueliggjort af [Lipman, 2009] vil manglen på interoperabilitet medføre et voldsomt stigende antal translaters mellem de forskellige software-programmer ($y = x^2 - x$), mens en løsning med fælles standarder kun bidrager med $y = 2x$ translaters.



Figur 8: Antal krævede kombinationsmuligheder for interoperabilitet. Af [Lipmann, 2009]

Der er forskellige metoder til at løse en effektiv udveksling af data mellem programmer. De spænder fra middleware software, udvekslingsformater udviklet af enkelte proprietære software-leverandører som DXF (Data eXchange Format), standarder og datamodeller som XML (eXtensible Markup Language) med åbne specifikationer, IFC (Industry Foundation Classes), Web services, projektmodel servere og semantisk web-applikationer [Yang og Zhang, 2006].

De vigtigste faktorer, der påvirker udviklingen BIM er tilsyneladende standarder, hvilket undersøges i nedenstående afsnit.

4.5 Standarder og specifikationer

Standarder sikrer ønskede egenskaber af produkter og tjenester, så som kvalitet, pålidelighed, effektivitet og udskiftelighed inden for forventede omkostningsparametre. Mangel på standarder er mærkbar i produkter, som er upålidelige, af ringe kvalitet, og fremstillet af komponenter, der ikke passer eller er uforenelige med andre komponenter som de forventes at arbejde sammen.

Når produkter, systemer eller enheder virker godt - er det mest sandsynligt fordi de opfylder bestemte sæt af standarder [International Organization for Standardization, 2010]. Dette gælder også for arkitektur, ingeniørarbejde og konstruktion, hvor en stor indsats gøres for at standardisere data udvekslet i industriens arbejdsgange. Disse standardiseringsinitiativer bliver i Europa anført ved IDM (Information Delivery Manual) og i USA af NIBS gennem NBIMS Projektet [NIBS, 2010].

4.5.1 ISO (International Organization for Standardization)

Som beskrevet af [ISO, 2010] er ISO en ikke-statslig organisation bestående af nationale standardiseringsinstitutter og som er verdens største udvikler og udgiver af internationale standarder. Siden grundlæggelsen i 1947, har ISO medlemmer fra 163 lande udviklet over 18.000 internationale standarder.

ISO målet er at gøre produkter og tjenester, navnlig deres udvikling, produktion og levering, mere effektiv, sikrere og renere. ISO-standarder fremmer også innovation, dele-teknologi og praksis, giver beskyttelse til forbrugerne, letter handelen mellem landene, og give regeringerne et grundlag for lovgivning. ISO-standarderne er frivillige, men kan ofte blive et marked krav.

4.5.2 STEP (Standard for Exchange Of Products)

STEP, også kendt som ISO 10303, er en international standard som kan beskrive produktdata uafhængigt af et bestemt system, og i hele produktets livscyklus, fra design til produktion, fra brug og til bortskaffelse. STEP bidrager til en neutral filudveksling brugt som base for lagring og deling af produktdata. STEP har ført til forbedringer i CAD (Computer Aided Design) og dets modeludviklingspraksis. Det har også været medvirkende til at fremme samarbejde og kommunikation i leverandørkæden. Siden sin begyndelse i 1984 er STEP løbende udviklet og anvendes i forskellige industrier, herunder AEC, rumfart, bil-, og skibsbygning [ISO, 2010].

4.5.3 XML (Extensible Markup Language)

XML er en standard, som blev oprettet 1998 med det initiativ at skabe et kodesprog, der repræsenterer data til brug og forbrug, uanset platform. Ideen med XML er at opmærke et dokument på en sådan måde, at det kunne blive forstået på tværs af alle arbejdsgrænser. Dette er instrumenteret ved at tilføje beskrivende tekst til de items, der er indeholdt i dokumentet, så et andet program kan lave en mening ud af det. At skabe og præsentere markup's i XML er relativt let, hvilket bidrager til at vinde popularitet. XML og HTML kaldes også opmærkningsprog.

4.5.4 CIS/2 (CIMSteel Integration Standards)

CIS/2 (CIMSteel Integration Standards) er et dataudvekslingsformatet, som muliggør indbyrdes kompatibilitet mellem softwareprogrammer til stålkonstruktioner. CIS/2 dokumentationen angiver, hvilken information der skal udveksles mellem software applikationer, og hvordan oplysningerne skal struktureres på en data fil (*.stp).

Integrationsstandarder sikrer et format til dataudveksling, som dækker hele strømmen af informationer fra planlægning, design og analyse, gennem fabrikation, til opførsel på byggepladsen.

Standarden dækker alt fra møtrikker og bolte, ståltyper, belastninger på rammer og samlinger.

CIS/2 blev godkendt af det amerikanske Institute of Steel Construction i 1998, efter formatet blev udviklet af Andrew Crowley og Alastair Watson på Steel Construction Institute i England, og yderligere udviklet af Georgia Institute of Technology i USA. CIS/2 er ikke et eksekverbar program, men et filformat, der importeres eller eksporteres i stål-relaterede CAD- og BIM-software.

CIMSteel står for Computer Integrated Manufacturing of Constructional Steelwork [NIST, 2010].

4.5.5 IFD (International Framework for Dictionaries)

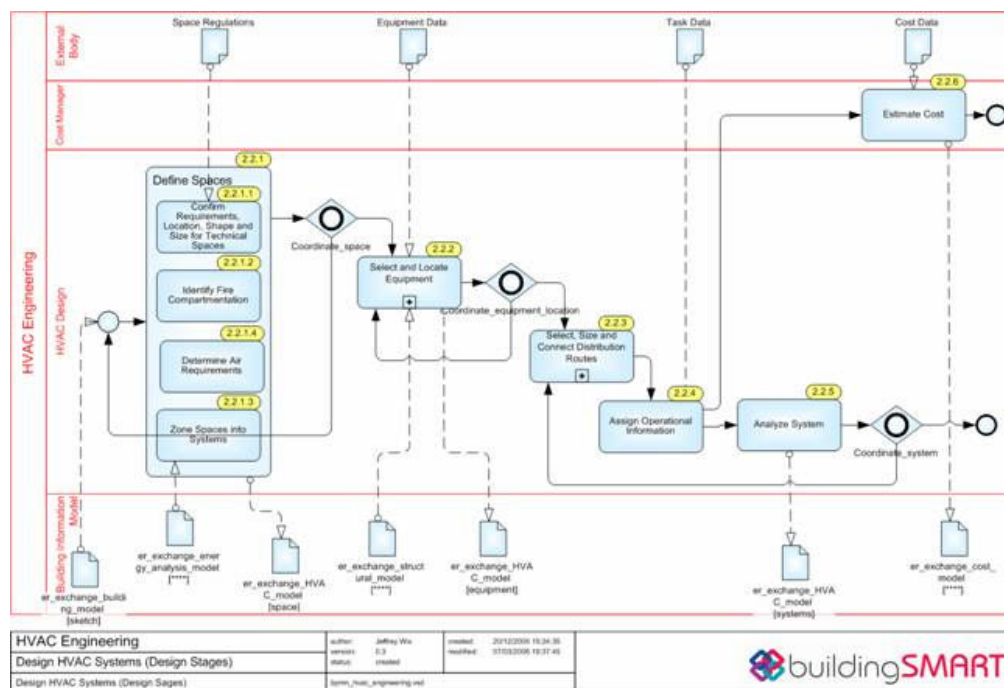
IFD er en mekanisme/filformat udviklet af ISO (ISO 12006-3:2007), der giver mulighed for oprettelse af flersprogede ordbøger eller ontologier⁴. IFD Library er et referencebibliotek til formål at støtte øget interoperabilitet i bygge-og anlægsbranchen og for eksempel kan IFD få de nationale byggeklassifikationer til at hænge sammen. IFD Library giver en fleksibel og robust metode til at linke eksisterende databaser med bygningsoplysninger til en IFC baseret Building Information Model. På grund af de flersprogede muligheder i IFD Library er denne sammenkædning også sproguafhængig. IFC kan indeholde GUID51, som er en algoritme, der genererer et unikt personnummer for et objekt på 20 karakterer, hvilket forhindrer duplikering af objektidentifikation.

IFD Library, IFC og IDM/MVD er de centrale elementer i buildingSMART teknologien. Flere oplysninger findes på www.ifd-library.org

4.5.6 IDM (Information Delivery Manual)

IDM (Information Delivery Manual) definerer forretningsregler for de professionelle deltagere, om hvilke oplysninger der skal være indeholdt i en udvekslingsaftale, f.eks. krav om et bestemt klassifikationssystem. Udtrykket "IDM" henviser også til den proces med at udvikle og dokumentere brugernes behov. [buildingSMART, 2010]

IDM's *Process map* er et flowdiagram, der bygger på "Business Process Modelling Notation" (BPMN) som visuelt afbilder og forklarer processer. Det giver et overblik den beskrevne fase, hvem som er med og i hvilken rækkefølge aktiviteterne skal ske.



Figur 9: Eksempel på et 'process map'.

4.5.7 MVD (Model View Definition)

Model View Definition er en software-specifikation med angivelse af indholdet af en bygningsmodel, der skal bruges ved en udveksling af oplysninger. Specifikationen dækker hvilke typer af objekter der kræves i modellen, hvordan de skal være relaterede, og hvilket minimum af egenskaber de skal indeholde.

[4]. En ontologi er et dokument eller fil, som definerer sammenhængene mellem ord så computere kan håndtere betydningen af ord. Netværket af ord afgrænser ordene bedre end almindelige ordbøger.

4.5.8 VDC

Virtuelt design og konstruktion (VDC) er processen med at bruge BIM til at vurdere og analysere projekter fra design til konstruktion. Denne BIM-aktiverede proces repræsenterer forskellige muligheder for konstruktionsingeniører til at demonstrere deres forståelse af strukturelle systemer. Ingeniørfirmaer vil blive konfronteret med udfordringer, da BIM-værktøjer videreudvikles til at modellere elementer, der i øjeblikket ikke er medtaget. Konstruktionsingeniører vil stå over for stigende pres fra arkitekter og entreprenører til at modellere langt mere end det vigtigste statiske/strukturelle system - til også at modellere samlinger af de mindste detaljer. Mange af disse detaljer har konstruktionsingeniører traditionelt udarbejdet som skitser og rentegnet til simpelt 2D-CAD eller ved kopiering af standardløsninger fra byggehåndbøger. Et vigtigt mål med dette niveau af detaljering i VDC er, at analysere "bygbarhed" ved nøjagtige 3D-modeller i 1:1, hvilket vil hjælpe med at identificere de strukturelle konflikter med andre brancher, da uoverensstemmelser vil afsløres meget visuelt.

4.5.9 IPD (Integrated Project Delivery)

Dette er en projektleveringsmetode, der integrerer mennesker, virksomhedsstrukturer og praksisser i én proces. Samarbejdet udnytter alle deltageres talenter og viden til at optimere projektresultater, øge værdien for ejeren, reducere spild og maksimere effektiviteten i alle faser af design, konstruktion og fabrikation. Dette gøres på tværs af et traditionelt modsatrettet forhold mellem ejerskab, design og konstruktion og entreprenør i et byggeprojekt. Der er udført mange case studies af IPD i forhold til den traditionelle fasemodel, som overvejende viser gode resultater i form bedre samarbejde, bedre overholdelse af tidplaner og økonomi. Se mere på www.aia.com.

Til forskel fra den danske version "partnering" inddrager IPD specifikt BIM og LEAN som værktøjer i processen. IPD kaldes på dansk Integreret Projekt Leverance.

4.5.10 Intellectuel ejendomsret og ansvar

Arkitekter og ingeniører har ved den traditionelle byggeproces forsøgt at beholde ejerskabet af bygningsdokumentationen, men særskilte kontrakter har gjort ejerskabet mudret. Men da digital information i en BIM-model meget lettere kan kopieres og genbruges, og da BIM vil blive et nyttigt redskab for f.eks. facility managers – har flere faglige organisationer og standardiseringsorganer i byggebranchen frigivet dokumenter, som rejser spørgsmålet om ejerskabet.

For at hjælpe med at løse juridiske problemer i forbindelse med BIM, har AIA udgivet dokument E202, som adresser ejerskab ved at fastslå, at "brugen af modellen er begrænset til det konkrete projekt, medmindre ejerskab fastlægges i en separat licens/aftale" (s. 2).

E202 udstikker standardprocedurer, ansvar for BIM-modeller og tjener som en standardkontrakt for BIM projekter. På grund af den unikke karakter af hvert enkelt projekt – så er dokument E202 ikke en generel erklæring, men snarere en juridisk bindende ramme for arbejdsregler, og giver derefter mulighed for tilpasning til hvert enkelt projekt [AIA, 2008, s. 1].

Det fastlægger, hvem som ejer BIM-modellen, hvordan den bruges, og den ansvarlige for hver "Model Element", som skabes af forskellige "Model Element Authors" (MEA). Hver MEA er juridisk ansvarlig for deres del af modellen [AIA, 2008, s. 6]. Hvis konflikter opstår skal den ansvarlige MEA løse problemet med "elementet".

Således vil medlemmer af IPD-teamet nok kræve ejerskab, da BIM-modellen er et kollaborativt arbejde og sørge for en kontraktlig begrænsning af ejerens eller andres evne til at genbruge modellen til fremtidig byggeri - eller kræve tilladelse/kompensation. Men også producenter og leverandører kan levere proprietære designs til BIM og vil/kan kræve aftaler, der forhindrer fabrikation eller genbrug af designet af andre. Det kan også være fortrolige virksomhedsprocesser, som skal beskyttes.

4.5.11 Lean Construction

Den sidste driver mod BIM er Lean Construction. Lean Production blev oprindeligt udviklet af bilproducenten Toyota med fokus på at optimere processerne ved en produktion. Varianten Lean Construction eller Trimmet Byggeri (udviklet af MT Højgaard) bygger på en koordination mellem entreprenøren og underentreprenør, for at sikre at arbejdet kan blive udført, når relevante ressourcer er til rådighed i hele byggeprocessen.

Undersøgelser af [Nielsen og Kristensen, 2002] viste, at kun ca. 1/3 af den samlede tid på byggepladsen gik til direkte værdiskabende arbejde, mens 2/3 af tiden blev brugt på arbejde, der ikke var direkte værdiskabende - såsom forberedende arbejder, flytning af materialer, vente på materialer, lave om, skaffe plads og direkte spild.

Det grundlæggende princip i Lean Construction er de sunde aktiviteter, som defineres ved de 7 strømme [Anlægsteknik, 2003]. Byggeprocessens effektivitet ikke kan øges ved alene at effektivisere arbejdsopgaverne enkeltvis, men der skal være fokus på hele byggeprocessen:

- 1) De foregående arbejder skal være afsluttede (indre)
- 2) Der skal være den nødvendige plads (indre)
- 3) Mandskabet skal være til stede (ressource)
- 4) Materiellet skal være til stede (ressource)
- 5) Materialerne skal være til stede (ressource)
- 6) Den nødvendige information skal foreligge (ressource)
- 7) De ydre forhold som vejret og godkendelser skal være i orden (ydre)

Ifølge [Kamp, 2005] er Lean Construction at:

- 1) Fokuserer på værdiskabelsen.
- 2) Optimere værdistrømmen.
- 3) Skabe jævnt arbejdsflow ved at planlægge ud fra de "7 strømme".
- 4) Benytte pull-princippet - så ressourcer kun tilføres byggepladsen når behovet er der.
- 5) Søge mod perfektion i alt, skabe løbende forbedringer og ved at lære af hinandens erfaringer.

BIM-processen kan fremme gennemførelsen af flowleveringen Just-In-Time (JIT) ved at komponenter og arbejdskraft til byggepladsen tilknyttes planlægningsoplysningerne i 4D-modellen. Ved brug af BIM-software med installationssekvens - kan de forskellige branchers arbejde optimeres, hvilket kan medføre bedre samarbejde, færre arbejdere på stedet med hurtigere installation, sikrere arbejdspladser samt øge lageromsætningen og reducere mængden af driftskapital, som kræves for at drive fabrikation.

Ved Lean Construction erkender man, at tidsplanen ikke altid vil holde, og derfor planlægges der løbende i byggeprocessen. Også ved tidsforsinkelser kan 4D og 5D BIM-software skabe overblik over byggeriets fremtidige udvikling ved for eksempel indeholde vejrprognoser.

"BIM vil blive et uundværligt værktøj for byggebranchen, ikke blot på grund af dets egne direkte fordel, men fordi det muliggøre Lean Construction" [Chuck Eastman, 2008].

4.6 Delkonklusion 2

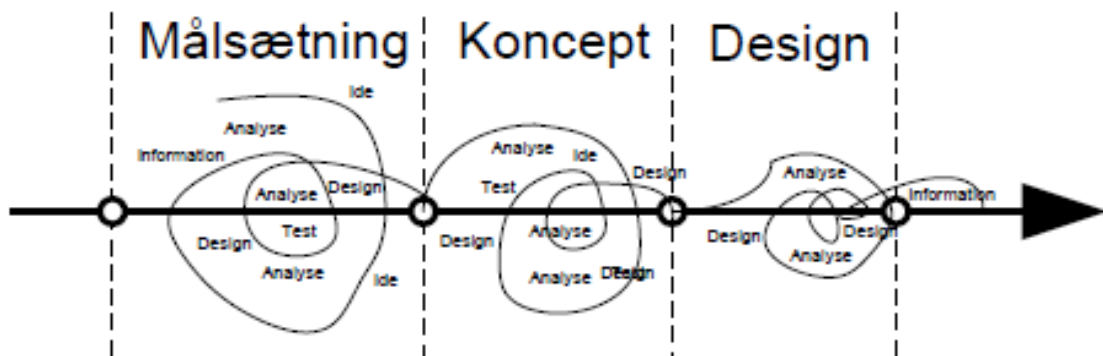
Dette kapitel synes at dokumentere fornuften ved de udviklede projekteringsredskaber og i brug af fælles standarder. Den hidtidige mangel på koordinering har ikke gavnet nogen af byggeriets parter. Resultater tyder på at dyre investeringer og gode hensigter ikke gør det alene, hvis branchen skal drage fordel af BIM.

Der er ligeledes behov for at se byggeprocessen som et hele, hvilket også omfatter ibrugtagning af byggeriet – således at prisen for et byggeri er de samlede udgifter i hele den projekterede levetid, hvilket også inkluderer produktivitet fra medarbejdere. I [Trelidal, 2007] refereres til undersøgelse fra Carnegie-Mellon University, som viser at en forbedring i produktiviteten på blot 3,8% i gennemsnit er nok til at betale for alle udgifter for et byggeri.

Der er således behov for øget fokusering på projekteringsfasen, da flere undersøgelser tyder på at det er her en samlet økonomisk gevinst for alle parter kan hentes. I henhold til [Brookfield, 2004] bliver 80% af byggeomkostninger fastlåst under de første 20% af designfasen.

Og her kan BIM være redskabet. En ny tilgang til byggeprocessen kunne også være midlet, hvilket illustreres på nedenstående figur 10, som viser en iterativ og integreret designproces for Building Information Modelling. Hver fase afsluttes i et punkt, som kan kaldes et resultat eller en konklusion. Herfra arbejdes der videre i en iterativ proces.

I det følgende kapitel kigges nærmere på BIM.



Figur 10: Iterativ og integreret designproces for Building Information Modelling.

5. BUILDING INFORMATION MODELLING

5.1 BIM indledning

"Den voksende bevidsthed og tilgængelighed af nye værktøjer og applikationer har gjort den traditionelle proces med 2D CAD ineffektivt - idet den simpelthen ikke udnytter kapaciteten i teknologien" [Edgar et al., 2007].

Autodesk introducerede ordet Building Information Modelling (BIM) i år 2002 og ifølge [Eastman et al., 2008] var BIM tiltænkt som en "human activity", men i henhold til de foregående afsnit kan konkluderes, at indholdet i BIM ikke er noget nyt. Det nye er snarere BIM som begreb, hvilket har afstedkommet mange forskellige definitioner, som dog alle gør klart at BIM er en arbejdsproces, der støttes af en model. Det er altså ikke nok, at en model er i 3D eller indeholder intelligente objekter, men BIM skal også fungere som fælles arbejdsplads for de forskellige deltagere i byggeprocessen [Coenders, 2009].

En forudsætning for den fælles arbejdsplads - er interoperabilitet mellem bygningsmodellen og fagdisciplinernes forskellige softwareprogrammer. Alternativet er proprietære standarder, som vil forhindre udveksling af information. Målet er således at skabe værditilvækst i projekteringen og ikke kun anvende computeren til at efterligne tegninger. Således fastslår [Eastman et al., 2008]: "BIM er ved parametriske modellering at omdanne 'geometriske design' til et objekt baseret forankret værktøj".

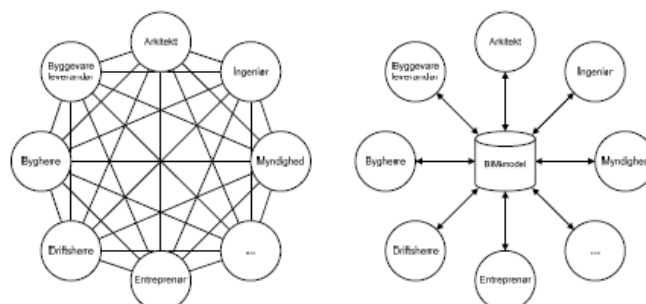
På baggrund af ovenstående kan der således skelnes mellem BIM og en BIM-model. Her gives et forsøg på definition:

BIM: Den integrerede proces med at generere, udveksle og administrere data for en bygning baseret på en BIM-model, hvor målet er bedre samarbejde mellem deltagerne i en kontinuerlig arbejdsproces, der forekommer mere samtidigt med åbne standarder for interoperabilitet i hele processen.

BIM-model: Resultatet af BIM. Kan indeholde de traditionelle elementer beskrevet i de tidligere afsnit, men også oplysninger om bygherrekraft, myndighedskrav, økonomi, tidsplaner, beskrivelser, referater, beregninger, tegninger og Facility Management (FM). Brug af reference-filer i BIM-modellen er stadig afgørende. Da alle fagdiscipliner er samlet, kan design og konstruktionsfejl reduceres ved at køre et 'sammenstød' mellem elementer/komponenter.

På hjemmesider for både Det Digitale Byggeri, BuildingSMART, NIBS og Erabuild gives længere beskrivelser til understøttelse af definitionerne. Dog medtages her Implementeringsnetværket for Det Digitale Byggeri korte forklaring:

Metoden = Building + Information + Modelling (BIM)
Produkt = Metode + Anvendelse (BIM-model)



Figur 11: Kommunikation uden og med BIM.

5.2 BIM applikationer

Analyseprogrammer anvendes hovedsageligt i projekteringsdelen af byggeriets faser, og der findes mange alternative programmer til at udføre den samme opgave.

Der kan analyseres på alle områder i byggeriet indenfor det statik, MEP, energi, økonomi, evakuering, lyd, lys, adgangsforhold, etc.

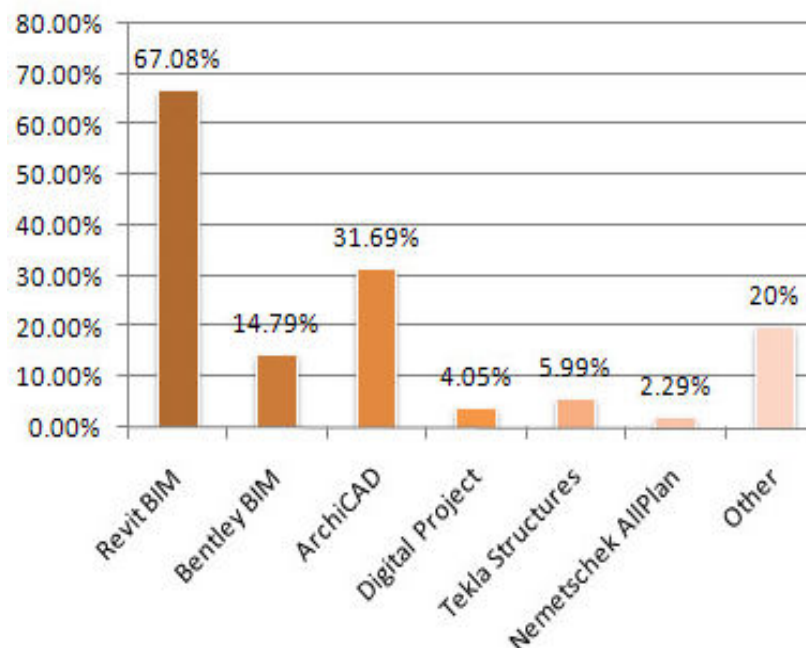
Programmerne er for så vidt ikke noget nyt tiltag i byggeprocessen, men de skaber i stigende grad en ny proces ud fra BIM modellen. Analyseprogrammer integreres med andre BIM programmer og skaber på den måde en bedre sammenhæng i udvekslingen og derfor større betydning.

Analyseprogrammerne kan give mulighed for at gennemarbejde og analysere bygninger hurtigere og på et tidligere tidspunkt i byggesagens forløb samt dokumentere forløbet i projekteringen og begrænse den informationsmængde der udveksles.

De mange muligheder indenfor valg af analyseprogrammer dikterer dog efterhånden, at man skal være selektiv i sit valg samt vurdere hvornår de skal anvendes.

[Khemlani, 2007] udførte i aecbytes en undersøgelse af brugernes applikationer. Af de over 650 fagfolk som svarede - var 46% var arkitekter, 9% ingeniører, og 17% CAD/IT-chefer.

Selvom det i undersøgelsen var tilladt at afgive flere svar og arkitekter stod for næsten halvdelen af svarene, så peger søgning på internettet af markedsandele i samme retning.

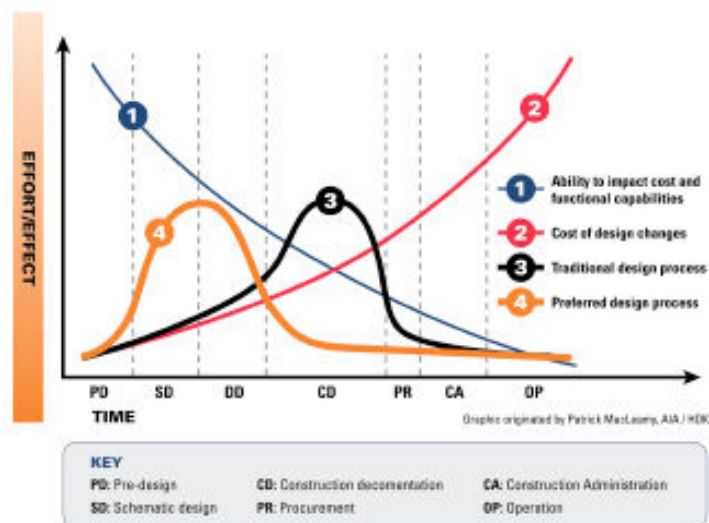


Figur 12: Brugerundersøgelse i aecbytes [Khemlani, 2007], [#14]

5.3 BIM konsekvens

Hvis konsekvenserne af BIM for projekteringen skal undersøges, så er det vigtigt at dette er på baggrund i et rigtigt byggeprojekt. Implementeringsnetværkets undersøgelser fra opførelse af Nyt Himmelev Behandlingshjem viser, at op til 70 % af beslutningerne skal tages på et tidligere stadie i projekteringen end ved traditionel projektering.

Nedenstående figur 13, kaldet "The Macleamy Curve", blev præsenteret første gang for AIA i 2005, af Patrick MacLeamy, administrerende direktør for HOK, som et af verdens største arkitektfirmaer med mere end 2300 ansatte. Kurven findes i flere publikationer og varianter med nogen forskydning af kurverne. Den viser en omvendt proportionalitet mellem muligheden for at påvirke omkostningerne (1) – og prisen for at ændre beslutningerne (2).



Figur 13: Macleamy Kurven.

Diskussion.

Kurverne for (1) og (2) er hinanden inverse og ret beset passer enheden på ordinataksen ikke for (1). Jeg mener godt der kan sættes spørgsmålstegn ved, om der helt er denne omvendte proportionalitet - selvom start og slutpunkter naturligvis er korrekte. Det antages endvidere ud fra opstillingen af grafen, at enheden for (3) og (4) er den samme som (2) – altså indsat/effekt. (2) beskriver at det med tiden bliver dyrere og dyrere at foretage ændringer i byggeriet – altså stigende forhold mellem tæller/nævner. For det traditionelle (3) og fortrukket (4) byggeprojekt flader kurverne ud i projekteringsfasen - og forholdet mellem tæller/nævner bliver konstant. Og ikke kun konstant, men også konstant lavt – hvilket er forkert. Grafen er mere korrekt, hvis det antages at kurverne (3) og (4) skrifter enhed når de skærere kurven for (2). Men så kan der for både (3) og (4) stilles spørgsmål ved kurvernes form "over" (2).

Det der vel søges forklaret af MacLeamy er, at beslutninger, der træffes tidligt i projekt kan foretages med lavere omkostninger og med større effektivitet. Dette er ikke nyt og selv ved traditionel projektering har målet altid været, at træffe så korrekte beslutninger så tidligt i sagsforløbet som muligt. Den interessante tolkning er nærmere, at der ved matematisk at integrere over arealerne - som anført ovenfor - kan aflæses, at der ved at tilføje flere ressourcer tidligere i projekteringen opnås en værditilvækst (over (2)), samt at udvælgelse/detaljering af tekniske løsninger, som kan stor betydning for livscyklus-omkostningerne kan flyttes fremad i tid, når beslutningerne er relativt billigere (under (2)). Dette scenarium er ønskeligt.

Det er min opfattelse, at MacLeamy kurven bør kunne forbedres.

5.4 BIM – casestudies.

Under dette kandidatspeciale er der brugt noget tid på at finde videnskabelig bevis for MacLeamy Kurven. Der er søgt på nordiske, engelske, tyske og spansksprogede hjemmesider. Endvidere er henvisninger i tidligere kandidatspecialer til blandt andet [Rizos, 2007] og [Hestnes, 2007] undersøgt.

Det er ikke lykkedes, at finde detaljeret byggeøkonomisk dokumentation for praktiske erfaringer med BIM, som kan underbygge de påståede besparelser på 10-20-30% i byggeudgifterne, der flere steder anføres i kortere artikler/præsentationer. Et amerikansk arkitektfirma opregner sågar en besparelse på 30-50% (ROI). Specielt software-producenter holder sig ikke tilbage med at fremlægge eksempler på store besparelser i tid og penge.

I f.eks. National Guidelines and Case Studies for Digital Modelling gives gode beskrivelser af 6 praktiske erfaringer fra byggeprojekter ved BIM, men ingen har kunnet eller villet fremlægge eventuelle besparelser.

Nogle steder bliver dokumentation også uklar ved casestudies med både BIM og Lean Management. Hentes eventuel gevinst det ene eller andet sted?

[Suermann, 2008] gennemførte i USA en sammenligning af to BIM-baserede byggeprojekter i Seattle og Louisville med hypotesen om, at der er en positiv korrelation mellem en BIM-baseret tilgang og byggeledelse-produktivitet. Trods der blev målt 208 forskellige niveauer med positiv effekt konkluderes det at:

”Projekterne ikke kan begrunde de overvældende positive data indsamlet tidligere i forskningen gennem bruger-undersøgelser vedrørende centrale resultatindikatorer.”

Faktisk var BIM-projektet i Seattle mere forsinket end samlignelige projekter uden BIM. Den formodede teknologisk overlegne BIM-model viste ringe indvirkning på problemer med byggeledelse, HVAC og vejrlig. Rapporten anbefaler at mange flere data indsamles med henblik på undersøgelse om BIM-baseret design forårsager produktivetsgevinster.

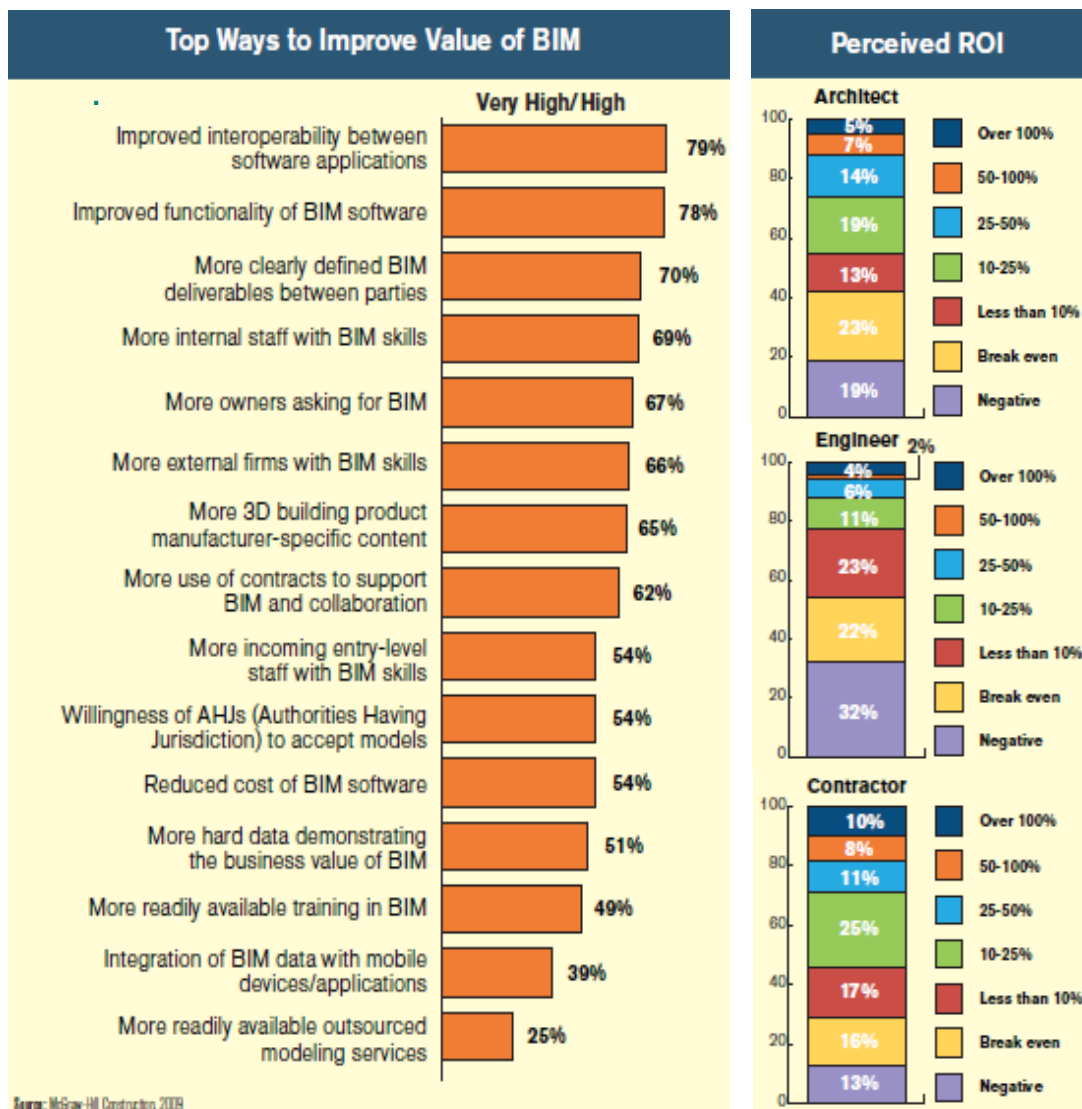
På www.bimoutsourcing.com refereres til undersøgelse foretaget af CIFE (Stanford University) i 2007, hvor der er fundet imponerende tilbagebetalingsprocenter (ROI) på BIM-projekter, hvilket kan aflæses i kolonne yderst i højre i nedenstående figur 14.

BIM Economics (CIFE, 2007)						
Year	Cost (\$M)	Project	BIM Cost (\$)	Direct BIM Savings (\$)	Net BIM Savings	BIM ROI (%)
2005	30	Ashley Overlook	5,000	(135,000)	(130,000)	2600
2006	54	Progressive Data Center	120,000	(395,000)	(232,000)	140
2006	47	Raleigh Marriott	4,288	(500,000)	(495,712)	11560
2006	16	GSU Library	10,000	(74,120)	(64,120)	640
2006	88	Mansion on Peachtree	1,440	(15,000)	(6,850)	940
2007	47	Aquarium Hilton	90,000	(800,000)	(710,000)	780
2007	58	1515 Wynkoop	3,800	(200,000)	(196,200)	5160
2007	82	HP Data Center	20,000	(67,500)	(47,500)	240
2007	14	Savannah State	5,000	(2,000,000)	(1,995,000)	39900
2007	32	NAU Sciences Lab	1,000	(330,000)	(329,000)	32900

Figur 14: Besparelser opnået ved BIM. Af [CIFE, 2007]

I McGraw-Hill Construction SmartMarket rapport "Den forretningsmæssige værdi af BIM," mente 19% af arkitekter og 32% af ingeniører, at Return Of Investment (ROI) på BIM investeringerne var negativ. Mens 27% af entreprenører og 34% af bygherrerne opfattede at investering i BIM gav ROI på mellem 10 og 25%, så troede kun 19% af arkitekter og 11% af ingeniører at niveauet for ROI ville være muligt. Der kan - som McGraw-Hill gør - også vælges at se på positive nøgletal:

- To-tredjedele siger, at de ser en positiv ROI på deres samlede investeringer i BIM.
- 87% af superbrugere oplever en positiv ROI med BIM.
- 93% af BIM-brugere mener, at der er potentiale til at få mere værdi ud af BIM i fremtiden.



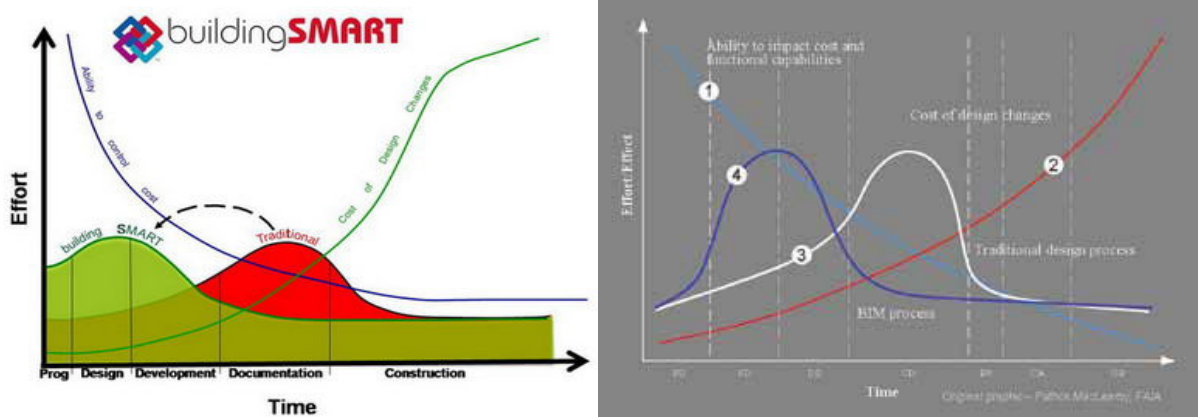
Figur 15: Brugerundersøgelse af [McGraw-Hill, 2009]

Nogle mener, at modstanden mod BIM skyldes den uigennemsigtighed, som de mener den bringer til byggeprocessen. I samme rapport udtrykker arkitekt Jay Zallan hvor meget BIM kan påpege folks fejl og mangler:

"Det er bedre end noget tidligere system eller proces til at skabe koordinerede AEC projekter, når det gøres rigtigt ... Når det gøres forkert kan BIM fortælle os hvem (og jeg vil forsøge at være venlige her) der er de "mindre opmærksomme" arkitekter og ingeniører ... BIM processer kan fremhæve ens ekspertise eller mangel på samme."

På baggrund af de tidligere afsnit virker det dog plausibelt, at der kan opnås gevinster, men det synes som om, at for mange undersøgelser peger tilbage mod MacLeamy Kurven. Som tidligere anført findes modificerede udgaver af kurven flere steder (Rambøll, BuildingSMART). Se figur 16.

Det ville være ønskeligt, om der (på internettet) blev fremlagt bedre dokumentation eller om der bliver udført flere uafhængige casestudies og ikke kun teoretiske studier af BIM-projekter.



Figur 16: Varianter af MacLeamy kurve. Fra <http://buildingsmart.org.au>

5.5 BIM erfaringer

I [Hejnfelt og Øksengaard, 2007] blev der foretaget undersøgelser og interview hos syv af de største danske ingeniørvirksomheder. I rapporten angives følgende:

S-BIM software var kun delvist implementeret i en virksomhed og kun to virksomheder havde testet denne software. De sidste fire virksomheder havde ingen erfaringer med S-BIM software.

Undersøgelsen viste, at almindelige OOM applikationer var foretrukket af seks ud af syv virksomheder og med ADT/ABS som deres primære platform for strukturel modellering. Kun én af selskaberne havde besluttet at koncentrere sig om en S-BIM applikation. De fleste virksomheder brugte OOM applikationer, som ikke var brugbare for integreret design.

A&D-programmer var udbredt i alle selskaber og blev for det meste brugt til stålkonstruktioner. Ved konstruktion af forbindelser blev Excel eller håndberegninger i stor udstrækning brugt.

Tre virksomheder havde ingen eller meget begrænset erfaring med integration af A&D-software og modelleringssoftware, to havde erfaring med en en-vejs-linket, og kun to havde testet interoperabilitet mellem en S-BIM applikation og et A&D-program. Den generelle holdning til integreret design var ikke særlig positiv. Den begrænsede brug af S-BIM software havde indflydelse på oplevelsen med integreret design.

Undersøgelsen konkluderer, at ingeniørerne har softwaren til at arbejde objektorienteret og ikke genbruger arkitekternes model. De rådgivende virksomheder så muligheder i 3D-modellering og til en vis grad også i integreret design, men fokus var generelt på at opfylde betingelserne i de offentlige bygherrekrav. Ellers arbejdede arkitekter og ingeniører kun med design og analysere af strukturer i 3D når det var til gavn for projektet og bygningsejeren.

Viden om mulighederne med BIM og integreret design var meget begrænset og generelt mente man, at tekniske issues var en væsentlig barriere.

En ingeniør mente, at BIM ville optimere projekteringsfasen, men at forbindelsen til entreprenører og leverandører skulle forbedres. Nogle ingeniører var bekymrede over kontrollen med analysen og detaljer, da de mente at perspektivering nemt kunne mistes samt at den sande optimale konstruktion forekom mindre og mindre ofte.

[Bazjanac 2005] beskriver at brugen af BIM har medført forøget effektivitet i projekterings- og byggeprocessen samt forbedret kvaliteten. Forbedringerne er primært et resultat af øget interoperabilitet, som giver mulighed for en øget brug af eksisterende designværktøjer og inddragelse af nye avancerede værktøjer.

[Bakkmoen et al. 2007] beskriver dog, at brug af banebrydende teknologi i BIM design har forårsaget flere komplikationer grundet manglende modenhed og mente, at ambitionsniveauet var for højt.

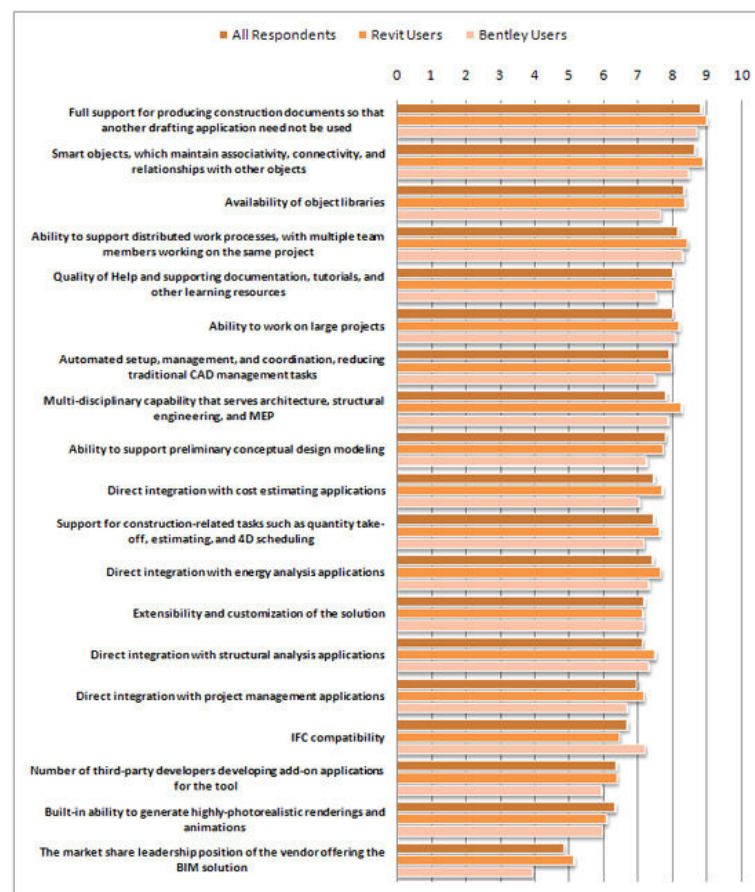
I "BIM-implementering og praktisk projekthåndtering" [Implementeringsnetværket, 2010] udtrykker Sten Legène fra B. Nygaard Sørensen A/S:

"Hvis vi ikke stoler på de udtræk og den viden, der genereres fra vores BIM-modellering, kan vi ikke effektivisere, og 3D bliver en hæmsko for den faglige og forretningsmæssige udvikling".

I [Karlshøj et al., 2008] præsenteres en gennemgang af udviklingen og implementeringen af BIM. Undersøgelsen er foretaget blandt arkitekter, ingeniører og entreprenører i Danmark, Sverige, Norge, Finland og Holland i løbet af sommeren 2007. Resultaterne af undersøgelsen viste, at BIM blev brugt i omkring 20% af projekterne for arkitekter og i omkring 10% for ingeniører og entreprenører. IFC kompatibelt BIM udgjorde 5%. Traditionelt CAD var stadig er den vigtigste form for teknik, der blev anvendt i design arbejdet (over 60%).

Ifølge [B3D-Konsortiet, 2006] brugte 29% af klienterne i Danmark BIM til en del af deres projekter. Undersøgelsen blev foretaget i januar 2006 og viste også at tallet var ca. 40% for ingeniører. En undersøgelse foretaget af [Kiviniemi, 2007] viste, at 93% af arkitekter i Finland brugte BIM i nogle dele af deres projekter. Noget kunne tyde på, at Finland med Tekla, Solibri og Granlund har nogle miljøer, som driver og skaber udvikling.

I [Khemplani, 2007] blev undersøgt hvad brugerne (fortrinsvist engelsksprogede) ønsker af deres BIM-applikationer, hvilket kan aflæses i figur 17. Det forekommer paradoksalt, at det bevidste valg af IFC for at opnå interoperabilitet blev vurderet så lavt (16. pladsen), og i [Karlshøj et al., 2008] konkluderes det passende, at "bevidstheden om behovet for en katalysator for samarbejde er ikke høj."



Figur 17: Brugerundersøgelse i aecbytes [Khemplani, 2007]

Kan placeringen af IFC kompatibilitet i spørgeskemaet have haft betydning for 16. pladsen? I figur 15 fra [McGraw-Hill, 2009] kommer interoperabilitet ind på en 1. plads. Det behøver dog ikke at være via IFC, men omvendt står IFC heller ikke som selvstændig valgmulighed i spørgeskemaet.

6. STRUCTURAL BUILDING MODELLERING

6.1 Indledning

I [Hejnfelt og Øksengaard, 2007] er den ingeniørmæssige konstruering af et byggeri døbt S-BIM. Hos Bentley bruges betegnelsen Integrated Structural Modeling (ISM) til at beskrive konstruktionsinformation mellem forskellige specialiserede programmer, CAD og Building Information Modeling (BIM) platforme.

Arkitekten fokuserer typisk på det kunstneriske udtryk af strukturen og samspillet mellem strukturen og miljøet i enhver forstand. Altså former, tekstur og placering. De arbejder med objekter på en anden måde end ingeniører, som arbejder med at bygge objekter i S-BIM [Robinson, 2007]. Bygningsingeniører fortolker det arkitektoniske arbejde for at skabe en overordnet struktur, hvorefter specialiserede analytiske modeller oprettes ved hjælp af forskellige software-applikationer til de forskellige typer af strukturelle analyser, der kræves til et projekt, såsom tyngdelaste, dynamiske laste (seismiske), og vindlaste. Herefter overføres ingeniørens arbejder med geometrien for det statiske system og de strukturelle elementer, materialeegenskaber, belastninger og randbetingelser til den samlede BIM-model. Således er S-BIM en delmængde af BIM. Ingeniøren skaber også en anden repræsentation af bygningen som dokumentation. Denne parallelproces har skabt mange muligheder for fejl.

For skabe en integreret designproces mellem S-BIM og A&D programmer er der 3 overordnede muligheder: Add-in værktøjer til S-BIM software, direkte eller indirekte links mellem S-BIM software og traditionel FEM-software, hvor tværsnitkræfter, udnyttelsesgrader og nedbøjninger findes.

6.2 Add-in

Add-in værktøjer er defineret som udvidede funktioner i S-BIM programmer, der muliggør analyse af bygningskonstruktioner. Linket betinger at et program har brug for et andet program for at arbejde. S-BIM med add-in værktøjer giver den mest direkte informationsstrømmen fra S-BIM til resultaterne.

Hvis mulighederne for analyse via add-in værktøjer er tilfredsstillende og pålidelige - så kan analyse udføres uden traditionel FEM-program. Dette kan gøre designfasen mindre kompliceret for ingeniøren, der skal være fortrolig med færre programmer og kan blive mere produktiv.

En anden mulig gevinst af add-in værktøjerne er, at nogle er udviklet fra bunden i modsætning til traditionelle analyse software applikationer, som oprindeligt typisk er udviklet til stålkonstruktioner, og derefter tilpasses til andre materialer som træ og armeret beton.

Som eksempel på et add-in værktøj kan nævnes følgende extensions til Revit Structure:

- Robot Structural Analysis - Integration with Robot Structural Analysis
- Robot Structural Analysis - Reinforcement Design
- Simulation - Static Analysis of Frames (2D)
- CIS/2 Import
- SI Tools Pro for Revit Structure

Den kendte extension i Tekla til FEM-programmet StaadPro eksisterer ikke mere, da Tekla har valgt at koncentrere sig om sin kerneforretning (S-BIM), og skabe direkte og indirekte links.

6.3 Direkte link

Et direkte link er defineret som en forbindelse mellem to softwareprogrammer fx via et Application Programming Interface (API). API er en grænseflade, der er implementeret i et program for at muliggøre interaktion med andre programmer. Dette udgør et typisk direkte link mellem S-BIM og FEM programmer - og filformatet vil oftest være proprietært.

I programmer som Tekla med OpenAPI - er det muligt i Visual Studio at programmere via fx C++ eller .NET og lave små applikationer. Dette kan bruges ved fx dimensionering af samlinger og speciale profiltyper, som parametriske kan ændres. Når komponenterne er bygget på denne måde, er der ingen forskel mellem komponenten, dens interne struktur og programmets interface – hvilket skaber en pålidelig forbindelse. Se endvidere senere i rapportEN.

Det mest kendte direkte link er 'Integration with Robot Structural Analysis' mellem Revit og Robot i Revit Extensions (Autodesk Revit Structure 2012). Et andet direkte link er 'SI-Xchange' mellem Revit og StaadPro (Bentley Structural Integrators).

Eksemplerne er mange og af nogle få direkte S-BIM links kan nævnes:

Revit Structure til/fra: RISA-3D, Fastrak, Sofistik, MISAD, GSA, RSTAB, RFEM, FEM-Design, IES VisualAnalysis, ARCHE.

Tekla Structures til/fra: Scia Engineer, StaadPro, ArchiCad, VectorWorks, AllPlan, SAP 2000; ROBOT Millennium, SAP 2000, GT Strudl, S-FRAME, ETABS

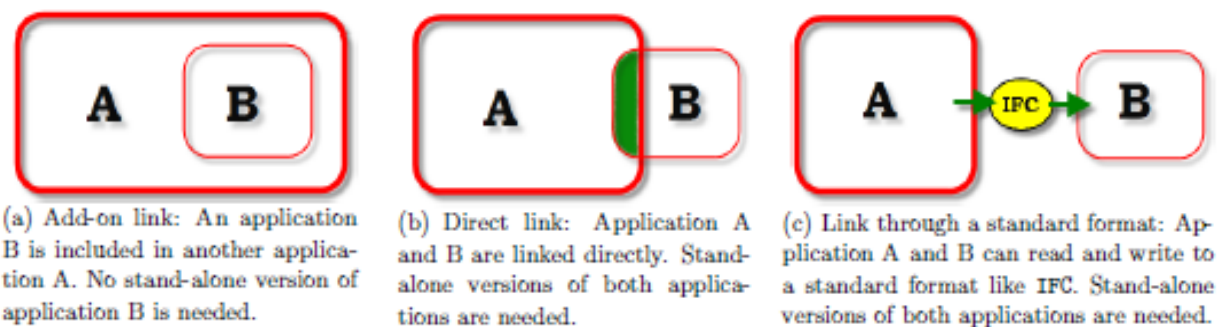
Af andre S-BIM programmer kan nævnes StruCAD, ScaleCAD og ProSteel 3D, som også indeholder diverse links.

6.4 Indirekte link

Et indirekte link skal også transportere de nødvendige oplysninger fra S-BIM til/fra FEM software, men det indirekte link sker via de uafhængige og neutrale filformater IFC eller CIS/2, som begge applikationer skal være i stand til at skrive og læse.

Selvom det direkte og indirekte link for brugeren indeholder et ekstra konverteringstrin i forhold til processen med add-in værktøjer – så kan et skema for en add-in programstruktur måske afsløre det ekstra "interne" trin.

Overvejelser om brug af add-in, direkte eller indirekte links – vil afhænge af projektets størrelse, tilgængelig software i firmaet samt ikke mindst sikkerhed for korrekt overførsel af data mellem applikationerne. Således kan add-in løsning til små projekter være lettere og billigere; mens der til større projekter kan være krav om udveksling med IFC filer.



Figur 18: Link-typer. Beskrivelser under figureerne. Fra [Hejnfeldt og Øksengaard, 2007]

6.5 Undersøgelser af andre

I blandt andet [Hejnfeldt & Øksengaard, 2007] og [Nielsen & Madsen, 2010] er undersøgt kvaliteten af de forskellige typer af links mellem S-BIM og A&D programmer. Resultaterne i deres konklusion angives nedenfor:

I [Hejnfeldt & Øksengaard, 2007] konkluderes følgende:

Direkte links

"Det er vigtigt at understrege, at interfacene, trods fejlene, ..., generelt fungerer tilfredsstillende. Især når en-vejs link betragtes er indtrykket næsten udelukkende positivt. I de fleste tilfælde er strukturen mere eller mindre klar til beregning, når de overføres fra S-BIM applikation til A&D-program. Hvis graden af interoperabilitet betragtes - kan det konkluderes, at interfacene generelt arbejder meget godt, når man linker én vej. Når det kommer til at linke begge veje ser det ikke helt så god ud som med en-vejs linket, men det helt sikkert ser lovende ud."

Indirekte links – IFC

"Når det kommer til at overførelse gennem IFC's Structural View er konklusionen temmelig nedslående. De elementer der importeres bliver importeret korrekt, og de er forbundet, hvor de formodes at være forbundet. Imidlertid er hverken belastninger eller understøtter importeret. Hvorvidt der er relateret til Tekla Structures som afsenderprogram eller RFEM og FEM-Design som modtagerprogram er uklart."

"Importen af almindelige IFC filer i Coordination View er endnu mere nedslående end import af structural IFC filer. Generelt er der kun et begrænset antal elementer som importeres."

"Det er interessant, at når strukturen er eksporteret til IFC-format fra både Revit Structure og Tekla Structures så vises den korrekt i tre uafhængige IFC-viewers. Dette indikerer, at den manglefulde import i A&D applikationer ikke er på grund af IFC-formatet, men snarere manglen på certificering."

I [Nielsen & Madsen, 2010] konkluderes følgende:

Add-in

"Generelt er add-in tool Revit Extensions, Simulation - Static Analysis of Frames i stand til beregning af snitkræfter og nedbøjning."

"Generelt er de design kriterier, som angives i Eurocodes, ikke tilgængelige, med det anvendte Revit add-in værktøj. Således levede Revit add-in tool, ikke op til den oprindelige vision ..."

Direkte link

"De direkte links fra henholdsvis Revit til Robot og StaadPro, giver de bedste resultater af dataudveksling mellem applikationerne. Men ingen arbejder som fuldt udviklede 2-vejs links."

"For en simple bjælke fungerede det godt henholdsvis fra både Revit til Robot og StaadPro, men det er kun muligt at opdatere tværsnitsegenskaber baglæns. For den tre-dimensionelle stålkonstruktion arbejdede hverken Integration with Robot Structural Analysis linket eller det SI Xchange linket uden problemer."

"De to links er også lig i forbindelse med den generelle procedure for betonkonstruktioner da ingen af dem kan håndtere armering. Men en alternativ forbindelse mellem Revit og Robot Reinforcement Design muliggør dataudveksling mellem de to programmer."

"Selv om resultaterne af dataudvekslingen til en vis grad er i overensstemmelse med forventningerne, så lever de ikke op til visionen for dataudveksling i projekteringsfasen."

Indirekte link

"De indirekte link i dette projekt har været fra Revit til Robot via IFC-filformat. Dataudveksling via IFC var temmelig ufuldstændig, eftersom kun oplysninger om geometri og en vis grad tværsnitsdata blev overført." "Da Revit og Robot kun understøtter IFC Coordination View er resultaterne af dataudvekslingen i overensstemmelse med forventningerne."

6.6 ATC-75

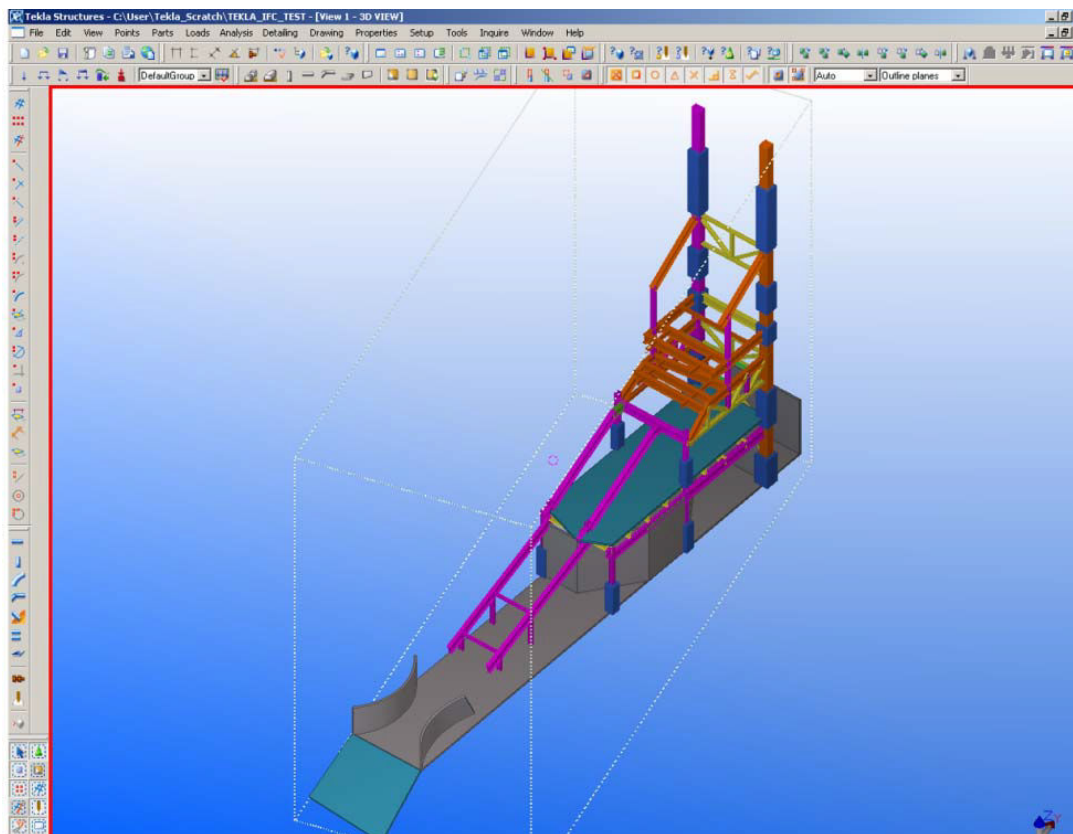
Under temaet "Development of IFCs for the Structural Domain" afholdte Applied Technology Council i år 2008 en work session, hvor til man havde lavet en testmodel (figur 19) for IFC export og udveksling mellem forskellige applikationer. Modellen blev genereret i både Tekla V13, Revit 2008 og Bentley Structures for at kunne teste en rig mangfoldighed af strukturelle elementtyper med en bred geometrisk kompleksitet.

Formålet var at opnå en kvantificerbar vurdering af programmernes IFC udveksling samt give en forståelse af mangler og forbedringsmuligheder ved interoperabilitet med IFC.

Den højeste prioritet blev givet til udveksling af geometri og elementegenskaber, da disse transcenderer alle fagdiscipliner. IFC filer

Resultatet af udvekslingstesten var at geometrioverførsel blev anset for at være temmelig komplet, mens tab af property data i en række af IFC udvekslingerne var ret stort.

Ved testen blev brugt IFCsvr og IFC File Analyzer, som omtales senere i denne rapport. Af figur 33 ses testresultatet genereret til Excel-regneark af IFC File Analyzer.



Figur 19: Testmodel fra ATC-75.

6.7 FEA/FEM

Finite Element Analysis (FEA) er en computersimulering, der anvendes til teknisk analyse og som kan angive løsninger på problemer, der ellers ville være vanskelige at opnå eller bestemme. Den bruger en teknik kaldet Finite Element Metoden (FEM), som oprindeligt er udviklet til numerisk løsning af komplekse problemer indenfor structural mechanics.

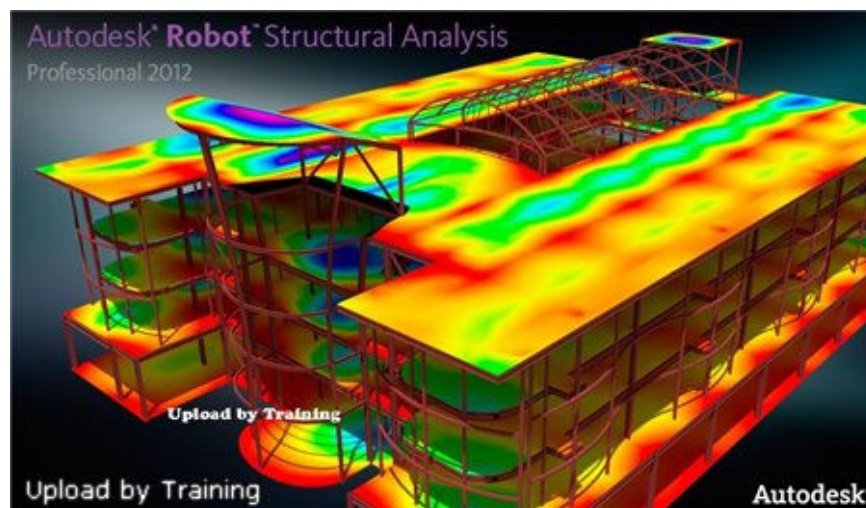
Overordnet er finite element metoden baseret på det virtuelle arbejdes princip eller det totale potentielle energis princip, hvorved kraftpåvirkede elementer analyseres for konkrete resultater. Ved analyse af konstruktionselementer bruges FEM normalt til eksperimentel bestemmelse af spændinger ud fra elasticitetsteorien.

FEM benytter et komplekst system af punkter, kaldet knuder (nodes), som skaber et gitter (grid) i det der til sammen kaldes en maske (mesh). I dette edderkoppespind af vektorer defineres de materiale- og strukturelle egenskaber, som afgør hvordan strukturen vil reagere på de givne belastningsforhold. For at minimere datamængden tilføjes antallet af nodes i gitteret afhængigt af det forventede stressniveau i et bestemt område. Områder med stort stress har således normalt en højere tæthed af nodes. Interessepunkter kan bestå af samlinger, hjørner, komplekse detaljer og høj-stress områder grundet store spænd. Af materialeegenskaber kan blandt andet tilføres tværsnitsdata, termisk ekspansion, massefylde, Youngs modul, forskydningsmodul og Poissons forhold.

FEM modellering i 3D giver mere præcise resultater end i 2D, men datamængden er meget større og modellen mere kompleks. Der kan oftest indsættes en lang række algoritmer (funktioner), som får systemet til at opføre sig lineært eller ikke-lineært. Lineære systemer er langt mindre komplicerede og tager generelt ikke højde for plastisk deformation, hvilket ikke-lineære systemer gør, som også kan teste et materiale hele vejen til brudstadiet. Finite element metoden (FEM) er fortsat den foretrukne metode til komplekse systemer - selvom der er udviklet og forskes i endnu mere komplicerede ligningssystemer for at forfine gitteret. Men teorien om, hvordan metoden fungerer vil forblive den samme:

Vektoranalyse, matricer og partielle differentialligninger

Der findes mange kommercielle, gratis, åbne og proprietære finite element programmer. De mest benyttede programmer blandt konstruktionsingeniør i Danmark er Bentley StaadPro, Autodesk Robot Structural Analysis og RISA-3D. FEM anvendes også af HVAC til fluid- og heat mechanics. Iden for geoteknikken anvender mange ingeniører programmet Plaxis. Der henvises til ingeniørstudiets lærebøger i Continuum Mechanics for interesserede.



Figur 20: FEM-model. Fra Autodesk Robot.

7. INDUSTRY FOUNDATION CLASSES

7.1 IFC indledning

Begrebet Industry Foundation Class (IFC), så dagens lys i 1994. Med deres nyudviklede ARX system til AutoCAD Release 13 - inviterede Autodesk tolv amerikanske virksomheder sammen for at undersøge mulighederne for interoperabilitet mellem software programmer. Konsortiet blev kaldt Industry Alliance for Interoperability og blev dannet som en non-profit industri-ledet organisation, med formålet at udvikle Industry Foundation Class (IFC), som et neutralt filformat for byggebranchen.

I forbindelse med den første version af IFC udgivet i januar 1997 skiftede man navn til Internationale Alliance for Interoperability (IAI). IFC Version 1.0 understøttede nogle processer i arkitektonisk design, HVAC, **codechecking af normer/reglementer**, omkostningsestimering og facility management [www.iai-international.org]. Siden 2005 er IFC specifikationen udviklet og vedligeholdt af buildingSMART International, som blot er et mere udadrettet og offentligt navn for IAI.

Den åbne internationale IFC standard er udviklet til at udveksle data gennem hele en bygnings levetid og dens omgivelser, på tværs af nationaliteter, faggrupper og bygningsfaglige programmer. IFC standarden omfatter desuden faciliteter til udveksling af GIS-data og til kodning af oplysninger med et globalt unikt ID (GUID). [National BIM Standard, 2007]

Da IFC er et åbent format - er det neutralt og uafhængigt af en bestemt software-leverandørs tidsplan og udviklingsretning [buildingSMART, 2010]. En forudsætning for udveksling af IFC-filer er IFC-implementering i de udvekslende programmer.

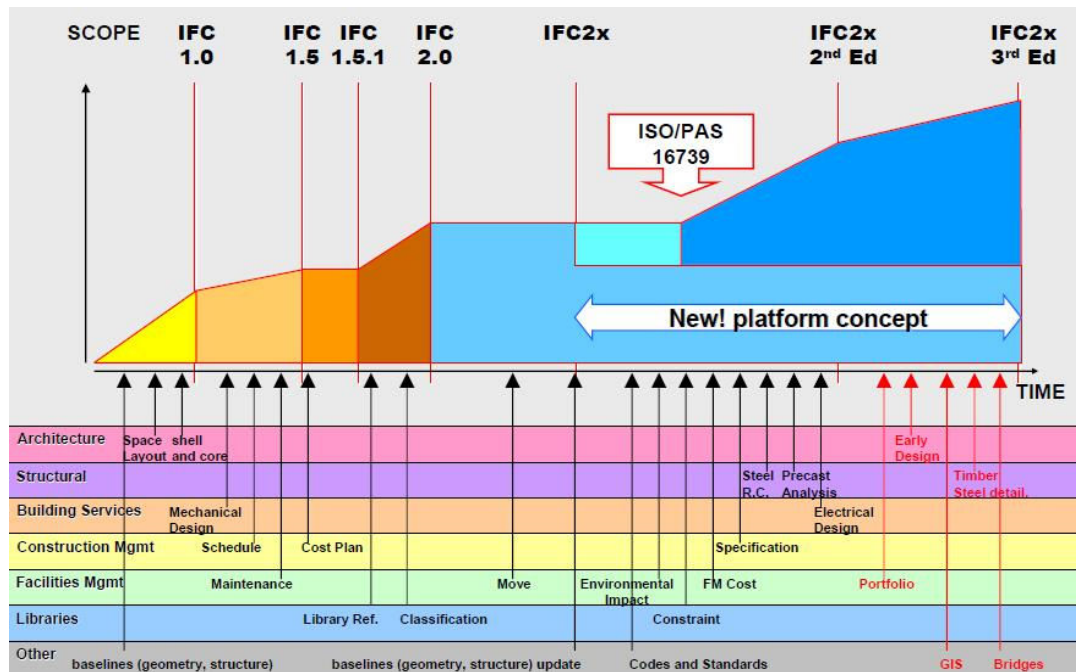
Med IFC er det ikke kun muligt, at udveksle information omkring objekterne, såsom bygning, etage og bjælke, men også information som konstruktionsanalyse, aktiviteter, organisation, tidsplanlægning, priskalkulation etc., hvilket ligger helt i tråd med ideen Building Information Modelling. I dag har IAI rundt 450 medlemmer i 19 lande verden over.

Software-programmer, som er blevet IFC-certificeret kan bære det officielle IFC-logo, der ses herunder.



Figur 21: Officielt IFC-logo.

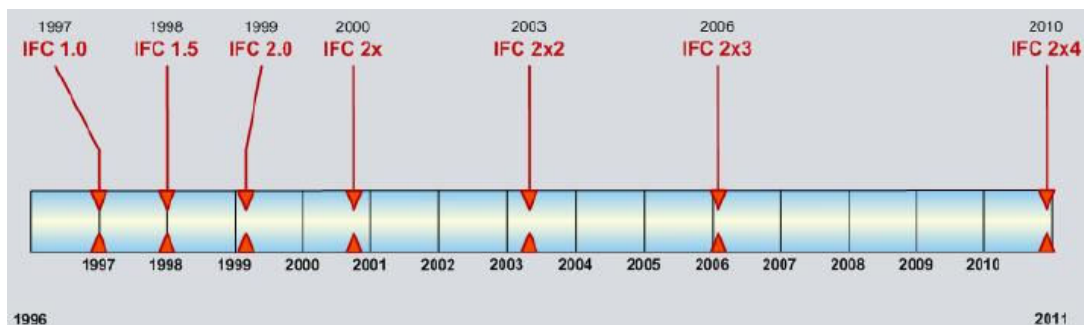
På nedenstående figur 22 kan ses hvornår de forskellige fagområder blev implementeret i de forskellige IFC-versioner. Det ses at konstruktionsområdet først blev optaget i IFC2x2.



Figur 22. Implementering af fagområder i IFC-versioner

Det nyeste format er IFC 2x4 kandidat 2, men det er endnu ikke implementeret i de forskellige programmer. Derfor vil der i eksamensprojektet fokuseres på filformatet IFC 2x3.

På nedenstående figur 23 kan aflæses hvornår de forskellige IFC-versioner er frigivet. Det bemærkes også, at der går længere og længere tid mellem udgivelserne. IFC 2x4 var faktisk sat til udgivelse i år 2010, men på diverse hjemmeside kan ses hvordan release dato flere gange er blevet udskudt. Ved den endelige lancering, som måske først vil finde sted i år 2012, vil versionen officielt blive kaldt IFC4.



Figur 23. Tidslinie for de frigivende IFC-versioner

7.2 IFC standarden

Industry Foundation Classes (IFC) er baseret på STEP (Standard for The Exchange of Product), som er udviklet og vedligeholdes af ISO tekniske komité (TC184/SC4). STEP er velegnet til filbaseret udveksling, men er mest fokuseret på andre brancher end bygge og anlæg. IFC er specifikt orienteret mod byggeindustrien.

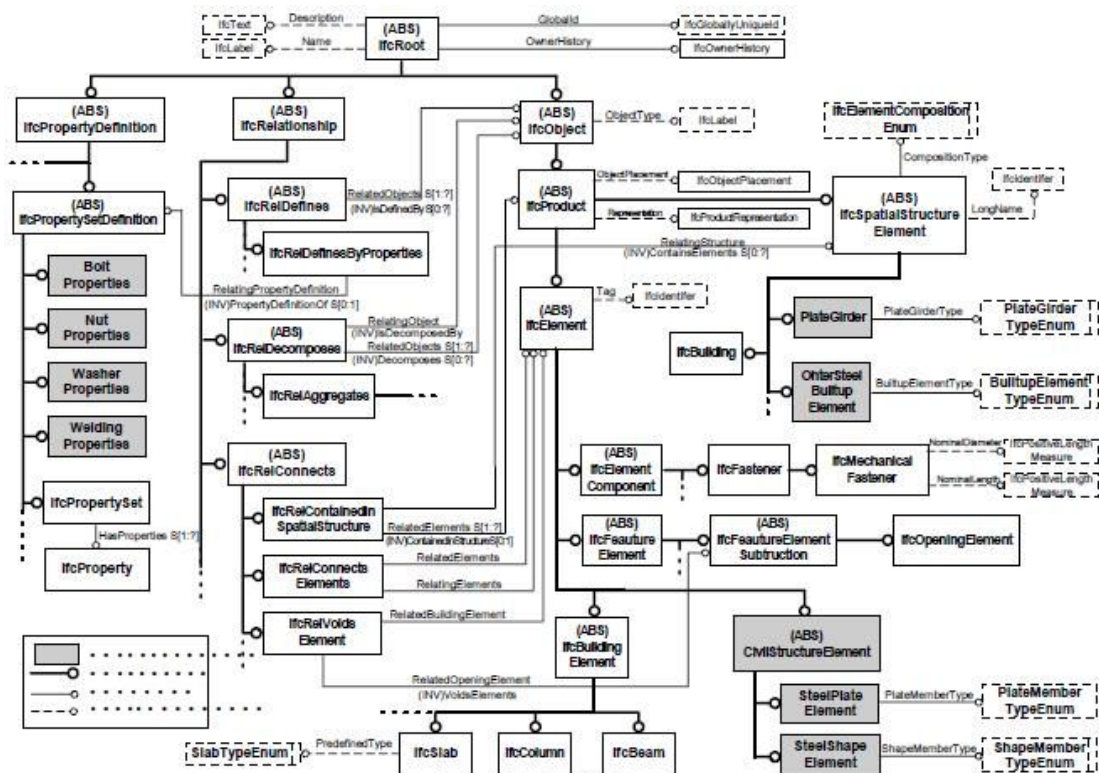
IFC-specifikationen er skrevet i datadefinitionssproget EXPRESS. Til beskrivelse af IFC skemaet har IAI tidligere brugt EXPRESS-G diagrammet, som blev udviklet til STEP for grafisk modelnotation. EXPRESS-G bruges til at identificere klasser, data-attributter og forhold mellem forbundne klasser. Omtale skyldes at skemaet stadig er meget udbredt. Til certificeringsprocesser bruges i dag et XML-diagram.

IFC er registreret hos ISO som ISO/PAS 16739 og er i gang med at blive en official international standard ved navn ISO/IS 16739. IFC tillader dataudveksling via ifcXML og aecXML. Definerings af geometri i IFC er en tilpasset version af ISO 10303 del 42 (STEP). Information om kodning af IFC filer kan findes i ISO 10303-21.

Med IFD (ISO 12006-3) og den kommende version af IFC standarden 2x4 bliver det muligt automatisk at fortolke det semantiske indhold (som det kendes fra internetsøgninger). IFC 2x4 specifikationen er frigivet i beta-version i februar 2010 [National BIM Standard, 2009].

IFC2x4 Final Release forventes at foreligge midt i 2012. Den endelige buildingSMART version udgives som IFC4 (som er det officielle navn på den nye udgivelse, samtidig med at IFC2x4 bruges som udviklingsnavn). Offentliggørelse af IFC4 vil være på linie med den endelige godkendelse som ISO 16739. [buildingSmart, 2010].

IFC 2x4 er udviklet med 6 personers årsværk.



Figur 24: Eksempel på IFC 2x-diagram [Yabuki, 2005]

7.3 IFC Views

IFC dataudveksling opnås med subsets eller views (MVD) af det samlede IFC specifikation. Hver view er udviklet til at understøtte en eller flere dataudvekslings-scenarier. Der er fire views:

Extended Coordination View 2.0 - IFC subset til koordinering af arkitektoniske discipliner, bygningservice og strukturelle discipliner i byggeriets projekteringsfase.

Structural Analysis View - IFC subset som understøtter udveksling af en structural analysis model til en structural analysis applikation. Den strukturelle analysemodel medtager laster, lastgrupper og kombinationer, strukturel analyse kurve og overflade medlemmer, samlinger, randbetingelser, materiale og profil oplysninger. Structural Analysis View er under stadig udvikling.

Quantity Take-off View - IFC subset til udtræk af mængder fra building information modellen til omkostningsvurdering og beregning.

Operation & Maintenance View - IFC subset til at overdrage facility management relevante informationer om rum, møbler, inventar og udstyr - til Computer Aided Facility Management software.

7.4 Extensions

IFC Extension Projects er et instrument til forskning og udvikling af prototyper for implementering af nye funktioner i IFC datamodellen. Til IFC 2x3 TC1 er flere extensions blevet udarbejdet siden IFC 2x2. De gennemførte extension projekter omfatter:

- ST-1: Stålrammekonstruktioner.
- ST-2: Armerede betonkonstruktioner og fundamenter.
- ST-3: Betonelementbyggeri
- ST-4: Strukturel analyse og stålkonstruktioner (Tekla ST-4)
- ST-5: Konstruktionstræ

IFC 2x4, som blev udgivet i kandidatudgave i 2010 indeholder væsentlige nye funktioner og forbedringer i IFC 2x4 er [buildingSMART, 2010]:

- ST-6: Oversættelse mellem CIS/2 og IFC metamodeller.
- Udvidet materialeegenskaber er defineret for træ og træbaserede materialer (anisotropisk).
- Styrkelse af analyse-model med resultater ikke kun i punkter, men også på kurver og flader.
- Armering af plader og vægge er nu medtaget.

Extensions for fremtidige udgivelser er:

- ST-7: IFC Finite Element Analysis og dynamik.

Der kan også nævnes det nordamerikanske projekt ATC-75 "Development of Industry Foundation Classes for Structural Components" ser på at forbedre dataudveksling og samarbejde. Der er defineret forsøgsmodeller for dataudveksling og udvekslingskrav. Der arbejdes med softwareleverandører med henblik på at forbedre kapaciteten i IFC for ingeniørfirmaer. Dette omfatter en benchmarktest af konstruktionssoftware.

7.5 IFC opbygning

Kort fortalt definerer IFC specifikation, hvordan oplysninger om hver enkelt element i et byggeri kan beskrives. Disse elementer er opdelt i forskellige objekttyper, som dækker de forskellige aktiviteter i et byggeprojekt som f.eks. konstruktioner, aktører eller processer. Det er dog muligt at etablere nye objekttyper i IFC standardstrukturen, hvis behovet skulle være der.

Strukturen opdeler bygningen i objekter i forskellige lag og disse navngives forrest med bogstaverne "Ifc" og efterfulgt af den engelske betegnelse, fx ifcDoor.

Objekter består af flere forskellige mindre enheder såkaldte **entities**. En entity er en enhed, som indeholder en eller flere attributter, der bærer forskelligt data. Således tildeles objekter egenskaber gennem entities, hvilket kan være oplysninger så som geometri, tværsnitsdata, randbetingelser, belastninger, og så videre. En arbejdsopgave (ifcTask) kan indeholde informationer om en opgavens navn/id, status og metode. IFC 2x3 indeholder 653 entities, 317 property sets og 164 enumerationer

Et grundlæggende og vigtig ting ved IFC- specifikationen er opbygningen i hierarkiske lag, hvor informationer genbruges fra højereliggende og mere generelle lag. En entity i et niveau kan kun henvise til en anden entity i samme eller lavere niveau.

Således indeholder en væg kun information om sig selv, men gennem arv tilknyttes information om hvor væggen hører til, hvilken bygning den tilhører osv. [Karlshøj, 2000]. Har væggen en bestemt egenskab (geometrisk, termisk, akustisk) – så tilknyttes alle vægge med **samme** egenskaber en objekt-type, hvortil der refereres.

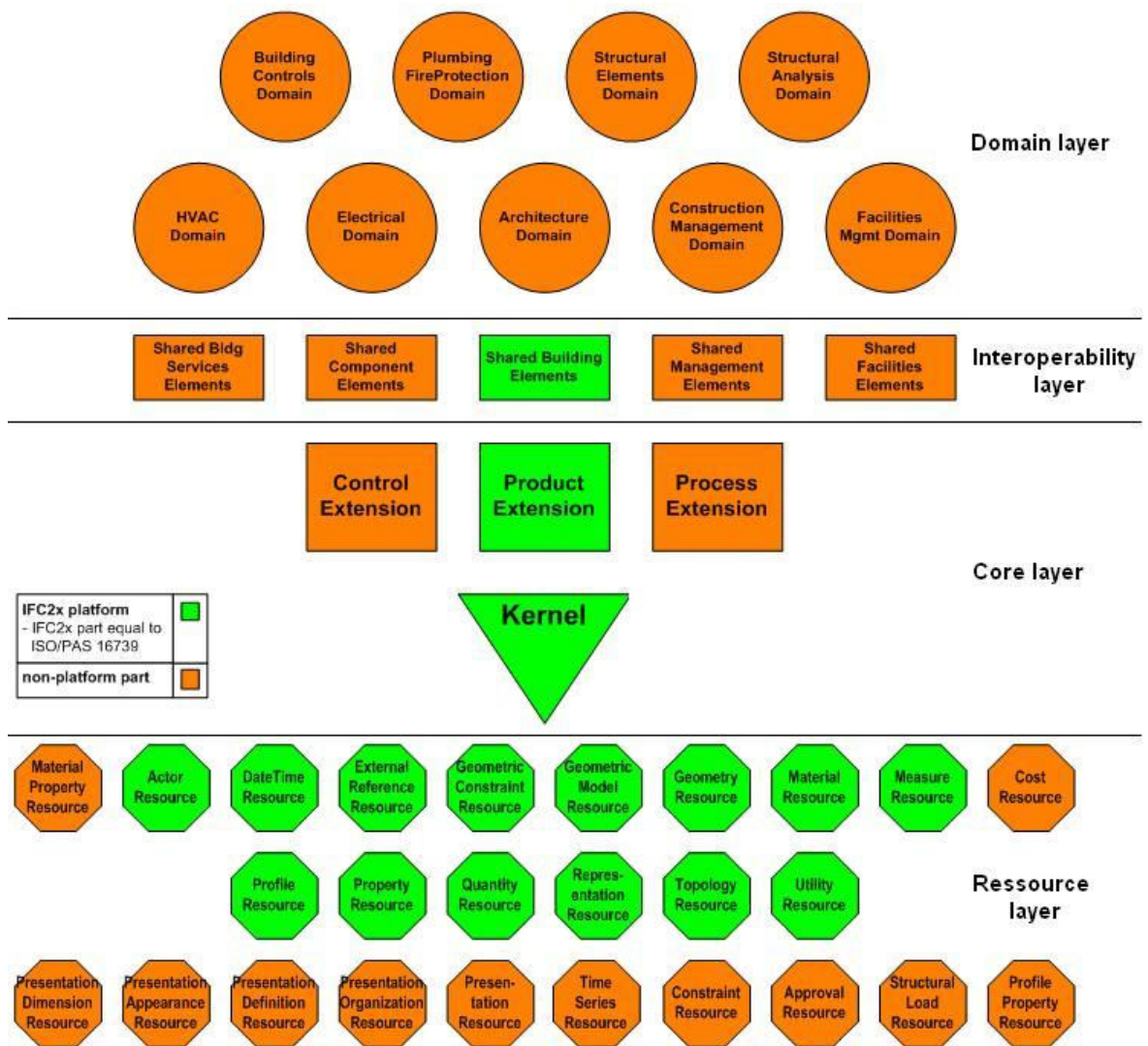
De forskellige entities kan også være forbundet til hinanden gennem relationer mellem objekter af **forskellige** typer.

Grundet geometri dannes for eksempel forbindelse mellem et dæk forbundet med bjælker og/eller vægge. Disse objekter er så igen forbundet til denne etages andre objekter.

Herved opnås den fordel, at det er lettere at skelne mellem entities i forskellige faggrupper i de øverste lag og derved lettere at implementere i forskellige fagspecifikke softwareprogrammer.

Det øverste lag i strukturen kaldes **Domain layer**, hvor data kan knyttes til et bestemt fagområde, som Architecture, Structural, HVAC, Construction, Facilities mv. Det næste lag kaldes **Interoperability layer** og her er "Shared Building Elements" af størst interesse. Herfra refereres der til **Core layer** med "Kernel", som så igen refererer ned til **Resource layer**.

På næste side vises grundskemaet med den hierarkiske struktur af IFC-specifikationen, som karakteriserer IFC som en top-down skema.



Figur 25: Opbygning af IFC schema. Bearbejdet fra [jai.org]

Domain layer

Det højeste lag i IFC-modellen. Indeholder entity definitioner for individuelle fagområder som arkitektur, structural engineering, HVAC og facility management.

Interoperability layer

Næste lag sammenfatter entity kategorier, som er almindeligt brugt og delt mellem mange konstruktions- og facility management programmer. For eksempel har Shared Building Elements definitioner for bjælker, søjler, vægge og døre.

Core layer

Product Extension skemaet definerer abstrakte bygningskomponenter, så som rum, sted, bygning, bygningselementer og annotation.

De to andre extensions definerer kontrolrelaterede koncepter, såsom opgaver, procedurer, tidsplaner, udførte og godkendte arbejder.

Kernel skemaet definerer kerne koncepter som aktører, grupper, processer, produkter og relationer.

Resource layer.

Indeholder information om geometri, materialer, mængder, måleenheder, dato og tid, priser, regler mv.

7.6 IFC definitioner

IFC er baseret på et objekthierarki med nedarvede informationer og inddeler alle entities i "root" og "no-root" forankrede enheder. Forankrede entities stammer fra IfcRoot og er automatisk tildelt et GUID, sammen med attributter for navn, beskrivelse og revision kontrol. Ikke-rod-fæstede enheder har ingen identitet og forhold eksistere kun, hvis der refereres fra en entity gennem IfcRoot direkte eller indirekte. IfcRoot er opdelt i tre abstrakte begreber: IfcObjectDefinition, IfcRelationship og IfcPropertyDefinition.

IfcObjectDefinition er opdelt i objektføremønstre og objekttyper:

- **IfcObject** indeholder objekthændelser, såsom installering af bygningslementer, med serienummer og fysiske placering.
- **IfcTypeObject** indeholder type-definitioner (eller skabeloner) såsom en produkttype, med fælles form. Føremønstre og typer er yderligere opdelt i seks grundlæggende begreber: produkter ("hvad"), processer ("hvornår"), kontrol ("hvorfor"), ressourcer ("hvordan"), aktører ("hvem"), grupper ("hvad") og projekter ("hvor").

Herfra inddeles i følgende sub-types (se nærmere beskrivelser senere):

- **IfcProduct** repræsenterer rumlige ting, såsom fysiske bygningsdele og rumlige steder.
- **IfcProcess** repræsenterer tidsmæssige ting, såsom opgaver, begivenheder og procedurer.
- **IfcControl** repræsenterer regler for kontrol af tid, omkostninger, arbejde og ordrer.
- **IfcResource** repræsenterer brug af noget med begrænset adgang, såsom materialer, arbejdskraft og udstyr.
- **IfcActor** repræsenterer personer eller organisationer.
- **IfcGroup** repræsenterer grupper af genstande til et bestemt formål.
- **IfcProject** repræsenterer det overordnede projekt og angiver projektnavn og beskrivelser.

IfcRelationship indeholder relationer mellem objekter. Der er fem grundlæggende typer forhold: helheder ("composition"), opgavetildeling ("assignment"), tilslutninger ("connectivity"), tilhørsforhold ("association") samt definition:

- **IfcRelDecomposes** indeholder en eksklusiv relation af helheder såsom at opdele en bygning i etager og rum eller en væg i lægter og beklædning.
- **IfcRelAssigns** indeholder opgaverelationer, hvor et objekt forbruger oplysninger fra et andet objekt, såsom en arbejdsressource tildelt til en opgave eller en opgave til en bygningsdel.
- **IfcRelConnects** indikerer konnektivitet mellem objekter, såsom en gulvplade forbundet til en bjælke eller et rør forbundet til en vask.
- **IfcRelAssociates** indikerer eksterne referencer til et objekt, f.eks. en ekstern IFC biblioteksfil, hvor et objekt er defineret.
- **IfcRelDefines** indikerer en forekomst af et forhold, såsom et rørsegment er af en bestemt type.

IfcPropertyDefinition indeholder egenskaber om objekter og fanger dynamisk udvidede property sets. Et property set indeholder en eller flere egenskaber, som kan være en enkelt værdi (f.eks. streng, antal, måleenhed), en afgrænset værdi (med minimum og maksimum), en opregning, en liste over værdier, en tabel med værdier eller en datastruktur. IFC definerer flere hundrede property sets, men brugerdefinerede property sets kan defineres af applikationsleverandører eller slutbrugere.

- **IfcPropertySet** indeholder egenskabsæt knyttet til en objektbegivenhed eller objekttype.

IfcProduct er baseklassen for alle fysiske objekter og er opdelt i rumlige ("spacial") elementer, fysiske elementer, strukturel analyse elementer og andre begreber. Produkterne kan være forbundne materialer, shape representations, og placering i rummet. Rumlige elementer omfatter IfcSite, IfcBuilding, IfcBuildingStorey, og IfcSpace. Fysiske bygningsdele omfatter IfcWall, IfcBeam, IfcDoor, IfcWindow mv.

Repræsentationer kan defineres i eksplicit 3D-form, og eventuelt i parametriske form. Hver repræsentation identificeres ved IfcShapeRepresentation.

- **Body** indikerer en 3D-form eller som "swept profile". Kan defineres direkte eller udledes ved at anvende materiale definitioner til andre repræsentationer.
- **Axis** angiver retning af lineære elementer (fx væg, bjælke, rør).
- **Footprint** angiver en grænse for plane elementer f.eks dæk ("slab"), hvor materialelaget er afgrænset.
- **Profil** indikerer tværsnitsprofil for at åbne elementer (fx dør, vindue) for hvilke materiale bestanddele er afgrænset.

Placement kan indikere position, lodret vinkel, og vandrette vinkel.

IfcLocalPlacement angiver placering i forhold til et omsluttet (lokalt) element-hierarki.

IfcGridPlacement angiver placering i forhold til modullinier med bruger-definerede akser.

Quantities kan defineres for take-off formål såsom brutto/netto-areal/volume/vægt, osv. IFC definerer forskellige specifikke mængder for hvert element type og beregningsmetoden i henhold til geometri og relationer.

IfcProcess er baseklassen for processer og er opdelt i opgaver ("tasks"), begivenheder ("events") og procedurer. Processer kan have varighed og være planlagt til at foregå på bestemte tidsperioder. Processer kan planlægges sådan, at en efterfølgende opgave kan starte efter en foregående opgave afsluttes, efter Critical Path Metoden. Processer kan tildeles produkter, som angiver output produceret af det udførte arbejde.

IfcResource er baseklassen for ressourcer og er opdelt i materialer, arbejdskraft ("labor"), udstyr ("equipment"), underentreprise, bemandede, og meget mere. Ressourcer kan have tilknyttet forskellige omkostninger og kalendere. Ressourcer kan være inddelt i sub-ressourcer til finere inddeling. Ressourcer kan tildeles processer, der angiver opgaver, der udføres på vegne af en ressource.

IfcProject omfatter det overordnede projekt og angiver projektets navn, beskrivelse, standardenheder, valuta, koordinatsystem, og andre kontekstuelle informationer. En gyldig IFC-fil skal altid indeholde præcis ét IfcProject, hvorfra alle andre objekter direkte eller indirekte relatere. Et projekt kan omfatte flere bygninger, flere deltagere, og flere faser.

Ud over projekt-specifikke oplysninger, kan IfcProject også henvise til eksterne projekter og dele definitioner med importerede produkt-typer. Hvert eksternt projekt defineres i **IfcProjectLibrary** [IFC2x4] sammen med IfcRelAssociatesLibrary og IfcLibraryInformation for at identificere revisioner/ændringer af det importerede projektetbibliotek. IfcProject understøtter revisionskontrol hvor enhver IfcRoot-baseret enhed med GUID.

7.7 IfcBeam

Da eksamensprojektet vil søge af skabe forbindelse mellem et S-BIM program og et dimensioneringsprogram via IFC – så gives der i nedenstående afsnit en mere detaljeret beskrivelse af definitioner forbundet med bjælkeberegninger:

IfcBeam

Definerer forekomsten af alle bjælker. Almindelig oplysning om bjælketype håndteres af IfcBeamType. I IfcBeamType kan fastsættes det almindelige typenavn, brug eller prædefinerede typer, almindeligt material layer set, fælles properties og fælles shape representations (ved hjælp af IfcRepresentationMap). IfcBeamType er forbundet ved hjælp af IfcRelDefinedByType. Hvis ikke IfcBeamType er forbundet vil en prædefineret type gives ved hjælp af ObjectType attributten. Anbefalede værdier er "beam" (er default), "brace" (stang), "joist" (tværbjælke), "rafter" (spær) eller "stringer".

Property Set

Property sets i forbindelse med IfcBeam er defineret af IfcPropertySet og er attached af IfcRelDefinesByProperties forholdet.

IfcMaterial

Er den grundlæggende enhed for materialeudpegning og definition, hvilket omfatter identifikation ved navn og klassifikation (via henvisning til en ekstern klassifikation), samt forening af materialeegenskaber (isotrope og anisotrope) defineret ved (undertyper af) IfcMaterialProperties. IfcMaterial kan være forbundet til et element eller et element type ved hjælp af IfcRelAssociatesMaterial forholdet.

Materialet af IfcBeam er defineret af IfcMaterial eller IfcMaterialList og er attached af IfcRelAssociatesMaterial. Væsentlige oplysninger kan også gives i IfcBeamType, som fastlægger fælles attributdata for alle forekomster af samme type.

Materialer kan defineres for produkter som helhed, eller som lag, profiltyper, eller bestanddele til bestemte dele:

- **IfcMaterial** indikerer et bestemt materiale, med valgfri egenskaber (f.eks mekanisk, termisk) og stilarter (fx farver, teksturer).
- **IfcMaterialLayerSet** indfanger en liste over lag, som hver angiver et materiale af en bestemt tykkelse.

Quantity

Mængderne for IfcBeam er defineret af IfcElementQuantity og er attached af IfcRelDefinesByProperties forholdet.

NominalLength

Samlede nominelle længde af bjælken. ValueType er IfcQuantityLength.

CrossSectionArea

Samlet tværsnitsareal (eller profil) af bjælken. Den præcise definition og beregningsregler afhænger af den anvendte målemetode. ValueType er IfcQuantityArea.

OuterSurfaceArea

Samlet areal af de ekstruderede overflader af bjælken, der normalt dannes som perimeter * længde. ValueType er IfcQuantityArea.

TotalSurfaceArea

Samlet areal af bjælken, der normalt genereres som perimeter * længde + 2 * tværsnitsareal. ValueType er IfcQuantityArea.

GrossVolume

Samlet bruttorumfang af bjælken, der ikke tager hensyn til mulige cut-outs, åbninger og udsparinger. Den præcise definition og beregningsregler afhænger af den anvendte målemetode. ValueType er IfcQuantityVolume.

NetVolume

Total nettovolumen af bjælken, hvor der tages hensyn til mulige cut-outs, åbninger og udsparinger. Den præcise definition og beregning regler afhænger af den anvendte målemetode. ValueType er IfcQuantityVolume.

GrossWeight

Samlet bruttovægt af bjælken uden add-on dele, og der tages ikke hensyn til mulige cut-outs, åbninger og udsparinger. ValueType er IfcQuantityWeight.

NetWeight

Samlet nettovægt af bjælken uden add-on dele, under hensyntagen til eventuelle cut-outs, åbninger og udsparinger. ValueType er IfcQuantityWeight.

IfcPropertySingleValue

Egenskaben med en enkelt værdi IfcPropertySingleValue definerer en objektenskab, der har en enkelt (numerisk eller beskrivende) tildelt værdi. Den definerer en egenskab, hvor property navn, en valgfri beskrivelse, og en valgfri NominalValue med measuretype er til rådighed. Desuden kan standardenheden som angivet under project unit overskrives ved at tildele en anden enhed.

IfcReinforcementBarProperties

Definerer et sæt af egenskaber for en bestemt kombination af armeringsjerns stål kvalitet, (bar) type og effektive dybde.

Det samlede tværsnitsareal for den specifikke stål kvalitet er altid til rådighed. Derudover kan også antal armeringsjern angives som defineret i attribut BarCount. I dette tilfælde bør den nominelle armeringsdiameter være ens for alle armeringsjern, som defineret i attribut NominalBarDiameter.

For helt at identificere og klarlægge IFC-skemaets muligheder for at indeholde information relateret til bjælkeberegninger – er alle entites i IFC-skemaet gennemgået. I Appendix A er gengivet en kategoriseret opdeling.

7.8 Inverse attributter

En anden vigtig ting ved IFC skemaets opbygning er brug af inverse attributter. Dette betyder at entities ikke kun er linked nedad i hierarkiet – men også opad.

Således kan der udtrækkes en delmængde og bånd ”klippes” til de nedad gående links, men forskellige entities kan ”genindsættes”, da de har viden om deres tilhørsforhold.

7.9 Notation

Når IFC filer studeres i for eksempel Notepad – så kan der forekomme steder med et dollartegn (\$) og et stjerne tegn (*). Dollartegn koder for en ubestemt værdi, dvs det vises, hvis en valgfri attribut ikke er blevet udfyldt. I Express skemaet af IFC datamodellen bruges spørgsmålstegn (?). Tegnet "*" koder såkaldt udeladt parameter.

7.10 IFC eksempel

For at illustrere nogle af ovenstående beskrivelser af entities – gives i figur 26 et praktisk eksempel på et tree view for IfcBeam og IfcReinforcingBar. Skemaet er stærkt simplificeret, da medtagelse af alle entities vil give et uoverskueligt billede. Relationer mellem objekter er kun markeret med overordnede IfcRelationship typer. Inverse relationer er ikke medtaget.

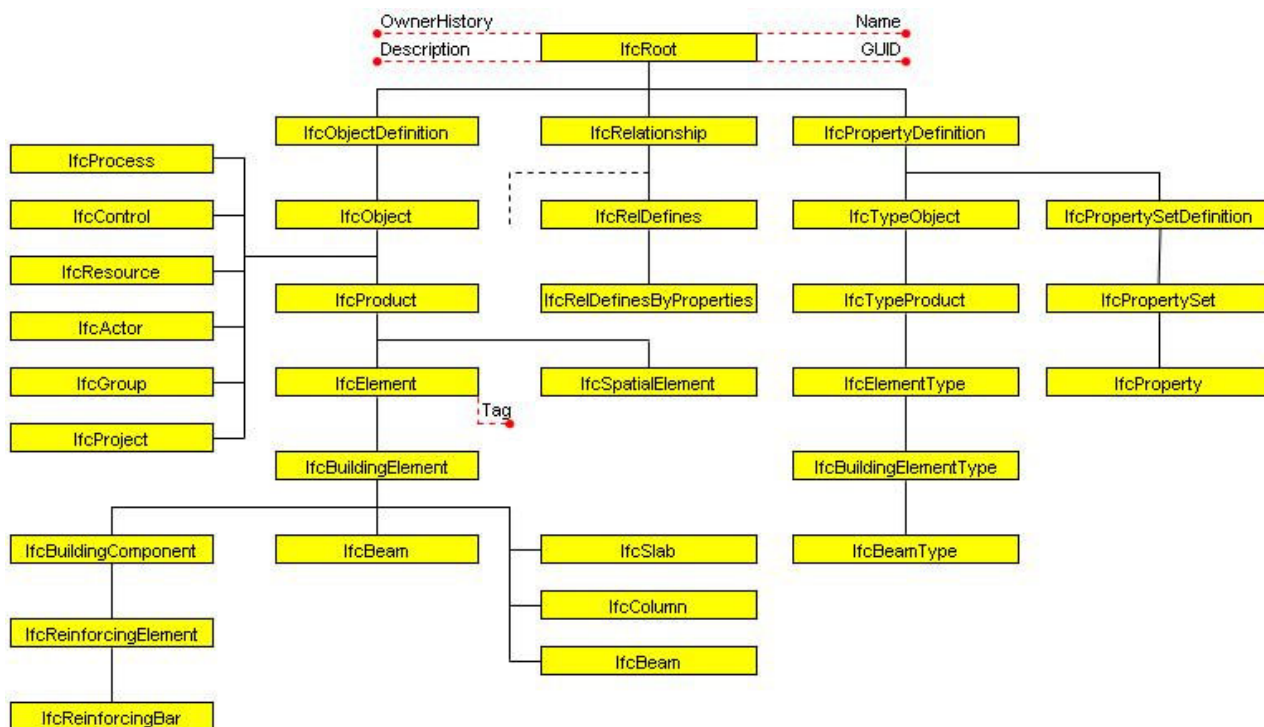
Øverst i hierarkiet er placeret IfcRoot, tilhørende Kernel fra "Core Layer". Herfra opdeles i 3 grene, som alle kan danne relationer til bjælken: IfcObjectDefinition (objektforekomster); IfcRelationship (relationer); IfcPropertyDefinition (egenskaber).

Bjælken kan defineres ad 2 veje: Den venstre gren via IfcObjectDefinition - IfcObject (objekthændelser) eller den højre gren: IfcPropertyDefinition - IfcTypeObject (type-definitioner). Vejene fører mod henholdsvis IfcBeam og IfcBeamType.

Fra IfcBuildingElement er der udover de sædvanlige bygningselementer tilføjet en IfcBuildingComponent, som fører til IfcReinforcingBar. Det bemærkes også at IfcReinforcingBar ikke arver fra TypeObject-grenen.

IfcBeam er et "slutprodukt", som ikke kan videregive information nedad i hierarkiet og beskrives som en "non-abstract" entity, hvilket betyder IfcBeam kan defineres i sig selv gennem dets attributter. Men ideen med IFC-skemaet er den nedarvede information og relation til andre entities, hvilket betyder at IfcBeam vil hente mange informationer fra "abstract" entities som IfcPropertySet og de viste super-types til IfcBeam.

I **Appendix A** vises attributter for de vigtigste entities for eksamensprojektet.



Figur 26: TreeView mod IfcBeam og IfcReinforcingBar

7.11 Andre åbne standarder

Som følge af behov, men også af kritik samt "smag og behag" – er der nogle alternativer til IFC standarden. De to vigtigste inden for byggeri er Green Building XML (gbXML) udviklet fra år 1999, som mest bruges af HVAC samt CIS/2, som er omtalt tidligere. Til byudvikling findes cityXML og til landskabsarkitektur findes landXML.

I henhold til [Erabuild, 2008] er der dog ingen andre standarder som dækker så bredt som IFC.

7.12 IFC viewer

Til brug for kvalitetskontrol af IFC filens indhold er udviklet såkaldte viewers. De simpleste udgaver er blot et passivt program. Typiske IFC viewers visualiserer bygningen repræsenteret af IFC-filen og brugeren kan studere de enkelte attributter for hver enkelt bygningsobjekt gennem et tree-view. Mange af disse viewers er gratis og benyttes af blandt andet entreprenører til at danne sig et overblik af byggeriet.

7.13 Model Checker

I starten af projekteringen vil arkitekter og ingeniører tilstræbe overholdelse af diverse krav om tilgængelighed og udformning, men løbende ændringer i konstruktionens geometri og elementers placering samt nye faggruppers indtrædelse i projektet kan medføre, at hensyn til diverse krav bliver overset. Til dette formål er udviklet mere avancerede viewers - såkaldte model checkers. Et af de mest avancerede programmer er finske Solibri Model Checker.

SMC giver mulighed for løbende kontrol af bygningens udformning i designprocessen ved enten automatiserede tests eller ved manuelt at justere behov inden for rammerne af et prædefineret regelsæt, hvilket kan være bygherrens krav defineret i byggeprogrammet. Således kan kontrolleres om for eksempel rum opfylder ønsker til arealstørrelser, højde, antal og beliggenhed.

Der kan også foretages tilgængelighedsanalyse om bygningsreglementer, krav eller "best practise" er overholdt. Dette kan være adgangsforhold omkring gangområder, døråbninger og trapper.

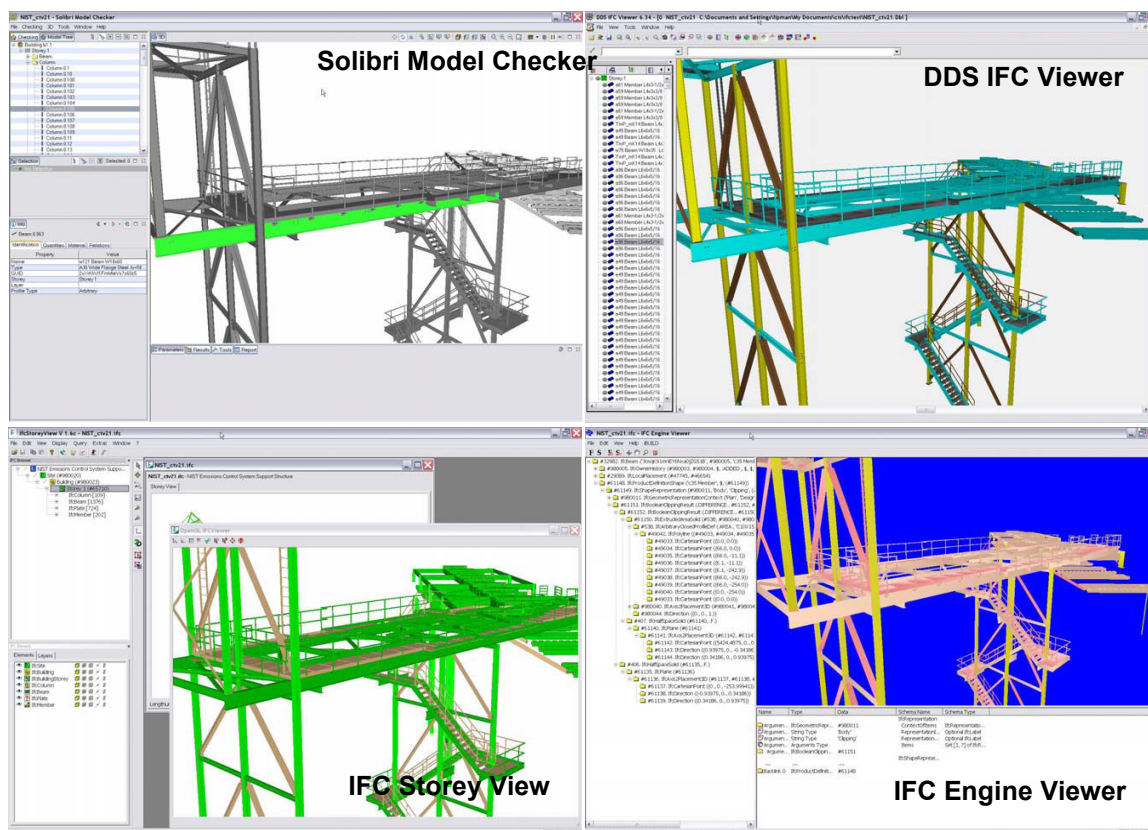
Programmet har en kollisionskontrol, hvor "component-clash" fremhæves, hvilket kan være manglende udsparring i væg for gennemgående HVAC komponent.

Man kan checke for "dobbelt-geometri", som ikke kan opdages visuelt. Er to vægge tegnet oven i hinanden vil dette medføre forkert mængderudtræk.

Til brug for kontrol af ovenstående er udviklet en walk-in samt x-ray funktioner, hvorved bygningen lettere kan beskues - så potentielle fejl og svagheder også visuelt afsløres.

Forskning af [Kiviniemi 2005] afslørede at kun omkring 30% af definerede krav kunne kategoriseres med numeriske værdier samt at størstedelen af krav blev fastlagt ved beskrivelser og referencer. Hvis flere krav kunne omformuleres til konkrete værdier i BIM – vil en større udnyttelse af model checkers være mulig.

Solibri Model Checker kan hentes gratis på nettet, og der kan tilkøbes add-ons for at opnå ekstra funktionaliteter. I eksamensprojektet behandles viewers ikke yderligere, da de behandlede bjælkeelementer ikke betinger dette.



Figur 27: Samme konstruktion vist i 4 IFC viewers.

7.14 IFC server

7.14.1 Indledning

Toolboxen IFC server, forkortet IFCsvr, er en COM (Component Object Model), der kan bruges til udvikling af software ved at tilføje IFC import og eksport funktionalitet. Denne komponent er udviklet af japanske ingeniør Yoshinobu Adachi i et samarbejde mellem den finske teknologivirksomhed VTT og det japanske teknologi- og sikkerhedsfirma SECOM.

7.14.2 Teknik

IFCsvr benytter ActiveX Control til at læse og skrive IFC modeldata, som frigøres for klientprogrammer gennem API. IFCsvr er skrevet i programsproget C++, hvilket giver let adgang til/for andre beslægtede sprog som C#, .NET og Visual Basic.

IFCsvr har IFC-modeldata input/output-funktion som STEP-Part21 fil eller BLIS-XML fil.

IFCsvr opererer med følgende kommandolag:

FCsvr. R200 Object

Er objekt-roden, som returnerer "Design object", der er nævnt nedenfor. GUID relaterede funktioner er indeholdt i dette objekt.

IFCsvr. Design Object

Giver udover et programmeringsinterface til import og export af IFC data også kommandoer for at søge, oprette og ændre data i dette lag.

IFCsvr. Entities Object

Entities Object er samlingen af entity objekter.

IFCsvr. Entity Object

Entity Object administrerer objekter defineret af EXPRESS. Hvert entity objekt indeholder sit typenavn og en pointer til sine egne attributter. Det er også muligt at tilføje nye attributter og fastsætte værdier.

IFCsvr. Attributes Object

Attributes Object er en samling af data objekter.

IFCsvr. Attribute Object

Attribute Object kan udtrække data af de enkelte attributter, som er indeholdt af et Entity objekt. Også her er det muligt at fastsætte værdier.

7.14.3 IFCsvr - Excel

Til eksamensprojektet er IFCsvr brugt som Add-in til de udviklede beregningsprogrammer i MS Excel, hvor det trækkes ind i VBA-delen gennem "Tools" – "References". Den nyeste udgave af IFCsvr som er hentet på nettet, er dog selvekspanderende, således at programmet blot skal eksekveres et sted på computeren - for så at hooke sig på Excel.

IFCsvr er freeware til både kommercielt og ikke-kommercielt brug og nyeste udgave af IFC server hedder IFCsvr.R300 ver.1.0.0.8z og kan ved ansøgning downloades fra: <http://tech.groups.yahoo.com/group/ifcsvr-users/>.

Yderligere information findes på: <http://cic.vtt.fi/projects/ifcsvr/ifcsvrr200/default.html>

7.15 IFC File Analyzer

7.15.1 indledning

IFC File Analyzer (IFA) er en software-plattform for implementering af forskellige parametre til at studere indholdet af IFC-filer. Programmet er udviklet af NIST (National Institute of Standards and Technology). Nyeste version er 1.78 fra 14. juli 2011. IFA er gratis tilgængelig fra http://ciks.cbt.nist.gov/cgi-bin/ctv/ifa_request.cgi og bruger IFCsvr ActiveX-komponenten til at læse og analysere oplysninger fra en IFC-fil. Softwaren er under løbende udvikling og dækker i nyeste version også IFC 2x4.

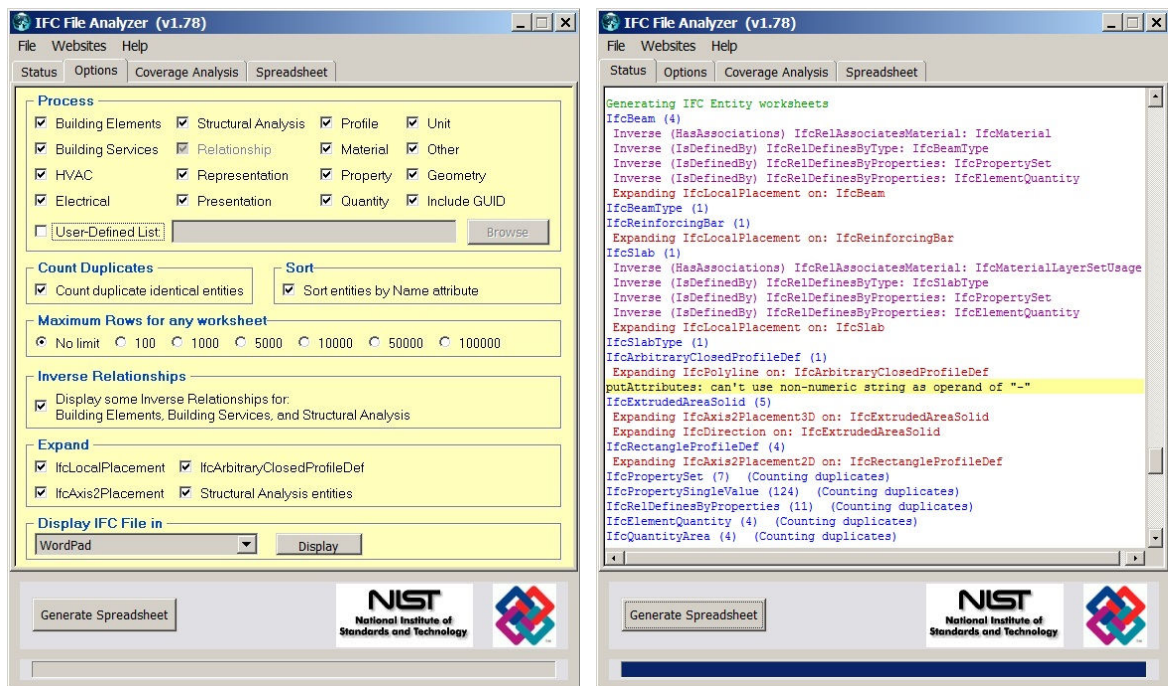
7.15.2 IFA Interface

IFC File Analyser læser IFC filer gennem IFCsvr og generer et Excel regneark ("Spreadsheet"). Faner (worksheet) genereres og åbnes for hver entity type i IFC filen, som er opfanget af programmet. Typen af entities som ønskes undersøgt kan udvælges på Option fanen når IFA åbnes. Derudover er der muligheder for at vælge eller fravælge den information, som skrives til regnearket. Hvis der for eksempel kun ønskes at generere en "Summary" fane – skal der kun sættes "flueben" ved denne. Det kan også vælges, at programmet kan fange identiske entites med identiske attributter og herefter angive antallet. IFA dækker Coordination View, men i "Coverage Analysis" startfanen kan der som forsøg vælges andre MVD's. Også Parametric Profiles er medtaget eksperimentelt.

For at generere et regneark vælges en IFC fil via File Menu og der skal derefter klikkes på "Generate Spreadsheet" nederst i programmet.

Der kan indlæses flere IFC filer og udover en samlet fane for alle filer, så genereres også en fane for hver enkelt fil. Herved kan indholdet af forskellige IFC filer sammenlignes.

I eksamensprojektet har alle valgmuligheder været "slået til" ved brug af IFA.



Figur 28: IFA interface med valgmuligheder. Til højre resultat af databehandlingen.

7.15.3 IFA regneark

Den første fane i IFA regnearket indeholder et resumé ("Summary") af det fundne indhold ved en optælling af hver entity og hvor mange gange forskellige attributter er anvendt, se figur 29.

Hvis en entity er del af Coordination View så angives dette i kolonne J-K-L, med CV-Arch ("Architecture"), CV-Struct ("Structural") og CV-BldgSrv ("Building Service").

Kolonne A viser alle registrerede entities grupperet i hovedkategorier ved angivelse med farve. For eksempel er entities markeret med lysegrøn relateret til parametriske eller ekstruderede profiler. Entities i gult er relateret til Properties. Sortering i rækkerne af entities foregår ellers alfabetisk.

I Kolonne B angives antallet (Count) af forekomster af hver enkelt entity i filen. I de næste kolonner C-G (Name, Description, ObjectType, Tag og ProfileName) angives det antal gange, hvor der er fundet værdier for attributter tilhørende disse entities. For eksempel har alle bygningsdele (IfcBeam, IfcColumn, IfcSlab, IfcWall) værdier for Navn, Beskrivelse og ObjectType attributter (men ingen "Tag" attribut).

Antallet af attributter som oplistes, giver en god og simpel dækningsanalyse. Hvis antallet (større end nul) af attributværdier er mindre end antallet af entities, så indikerer det, at nogle entities mangler en attribut værdi. Ved at sammenligne antal entities og de forbundne attributter med identiske modeller genereret af forskellige applikationer, vises hvor godt de forskellige applikationer er i stand til at skrive og eksportere IFC-filer (se endvidere afsnit 7.15).

Entity	Count	Name	Description	ObjectType	Tag	ProfileName	IFC2x3	IFC2x4	RC2	CV-Arch	CV-Struct	CV-BldgSrv
IfcBeam	4	4	4	4	4	4	Doc	Doc	X	X		
IfcBeamType	1	1	0	0	0		Doc	Doc	X	X		
IfcReinforcingBar	1	1	0	0	1		Doc	Doc	X	X		
IfcSlab	1	1	1	1	1		Doc	Doc	X	X		
IfcSlabType	1	1	0	0	0		Doc	Doc	X	X		
IfcArbitraryClosedProfileDef	1					1	Doc	Doc	X	X		X
IfcExtrudedAreaSolid	5						Doc	Doc	X	X		X
IfcRectangleProfileDef	4					4	Doc	Doc	X	X		X
IfcPropertySet	7	7	7				Doc	Doc	X	X		X
IfcPropertySingleValue	124	124	124				Doc	Doc	X	X		X
IfcRelDefinesByProperties	11	11	11				Doc	Doc	X	X		X
IfcElementQuantity	4	4	0				Doc	Doc				
IfcQuantityArea	4	4	0				Doc	Doc				
IfcQuantityLength	4	4	0				Doc	Doc				
IfcQuantityVolume	4	4	0				Doc	Doc				
IfcQuantityWeight	4	4	0				Doc	Doc				
IfcMaterial	2	2					Doc	Doc	X	X		X
IfcMaterialLayer	1						Doc	Doc	X	X		X
IfcMaterialLayerSet	1						Doc	Doc	X	X		X
IfcMaterialLayerSetUsage	1						Doc	Doc	X	X		X
IfcRelAssociatesMaterial	2	0	0				Doc	Doc	X	X		X
IfcGeometricRepresentationContext	2						Doc	Doc	X	X		X
IfcProductDefinitionShape	6	0	0				Doc	Doc	X	X		X
IfcShapeRepresentation	6						Doc	Doc	X	X		X
IfcRelAggregates	4	0	0				Doc	Doc	X	X		X
IfcRelContainedInSpatialStructure	2	0	0				Doc	Doc	X	X		X
IfcRelDefinesByType	2	0	0				Doc	Doc	X	X		X
IfcColourRgb	3	2					Doc	Doc	X	X		X
IfcPresentationLayerAssignment	1	1	0				Doc	Doc	X	X		X
IfcPresentationStyleAssignment	3						Doc	Doc	X	X		X
IfcStyledItem	93	93					Doc	Doc	X	X		X
IfcSurfaceStyle	3	0					Doc	Doc	X	X		X
IfcSurfaceStyleRendering	3						Doc	Doc	X	X		X
IfcSUnit	9	9					Doc	Doc	X	X		X
IfcUnitAssignment	1						Doc	Doc	X	X		X
IfcApplication	1						Doc	Doc	X	X		X
IfcBuilding	2	2	0	0			Doc	Doc	X	X		X
IfcBuildingStorey	2	2	0	0			Doc	Doc	X	X		X
IfcOrganization	1	1	0				Doc	Doc	X	X		X
IfcOwnerHistory	1						Doc	Doc	X	X		X
IfcPerson	1						Doc	Doc	X	X		X
IfcPersonAndOrganization	1						Doc	Doc	X	X		X
IfcProject	1	1	1	1			Doc	Doc	X	X		X
IfcSite	1	1	0	0			Doc	Doc	X	X		X
IfcAxis2Placement2D	4						Doc	Doc	X	X		X

Figur 29: Eksempel på "Summary" fane.



I regnearket følger derefter faner for hver type entity fundet i IFC-filen.

Hvis en IFC-fil indeholder en bjælke genereret med IFA – så vil man under fane "IfcBeam" kunne finde yderligere oplysninger (se figur 30). I kolonne A angives entity-ID fra IFC filen (GUID og OwnerHistory vises ikke). Som tidligere nævnt, så kan der gennem attributter også henviser til andre entities. For eksempel henviser ObjectPlacement attributten til IfcLocalPlacement entities. I kolonne E angives efter IfcLocalPlacement et antal cifre, som henviser til linienummer i IFC-filen hvor tilhørsforhold til ObjectPlacement kan findes. Kolonner H og I vises omvendte (Inverse) relationer forbundet med IfcBeam.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P		
3	ID	GlobalId	OwnerHistory	Name	Description	ObjectType	ObjectPlacement	PlacementRelTo	PlacementRelTo	PlacementRelTo	PlacementRelTo	RelativePlacement	Location	Axis	RefDirection	RelativePlacement	
4	13424	1E0E0A000404C4J4CZSg	IfcOwnerHistory 9	BEAM	800'400	800'400	IfcLocalPlacement 13379	<13379> IfcLocalPlacement 79	<79> IfcLocalPlacement 66	<66> IfcLocalPlacement 53	<53>	<53>	IfcAxis2Placement3D 26	(Origin)	(Z)	(X)	<66> IfcAxis2Placement3D
5	13649	1E0E0A000404C4J4CZSg	IfcOwnerHistory 9	BEAM	800'400	800'400	IfcLocalPlacement 13622	<13622> IfcLocalPlacement 79	<79> IfcLocalPlacement 66	<66> IfcLocalPlacement 53	<53>	<53>	IfcAxis2Placement3D 26	(Origin)	(Z)	(X)	<66> IfcAxis2Placement3D
6	13812	1E0E0A000404C4J4CZSg	IfcOwnerHistory 9	BEAM	800'400	800'400	IfcLocalPlacement 13781	<13781> IfcLocalPlacement 79	<79> IfcLocalPlacement 66	<66> IfcLocalPlacement 53	<53>	<53>	IfcAxis2Placement3D 26	(Origin)	(Z)	(X)	<66> IfcAxis2Placement3D
7	13975	1E0E0A000404C4J4CZSg	IfcOwnerHistory 9	BEAM	800'400	800'400	IfcLocalPlacement 13948	<13948> IfcLocalPlacement 79	<79> IfcLocalPlacement 66	<66> IfcLocalPlacement 53	<53>	<53>	IfcAxis2Placement3D 26	(Origin)	(Z)	(X)	<66> IfcAxis2Placement3D

Figur 30: IfcBeam fane. Gengivet ved 2 forskudte screendumps.

To andre vigtige faner er "PropertySingleValue" og "CartesianPoint", som ses af figur 31 + 32.

A	B	C	D	E
3	ID	Name	Description	NominalValue Unit
4	981	AreaPerTons	AreaPerTons	4,3055556
5	864	Assembly_Mark	Assembly_Mark	B(0?)
6	889	Bottom_Elevation	Bottom_Elevation	0
7	852	Class	Class	6
8	885	CogX	CogX	6,15E-08
9	881	CogY	CogY	3000
10	877	CogZ	CogZ	300
11	913	EndX	EndX	-4,55E-13
12	905	EndY	EndY	6000
13	897	EndZ	EndZ	0
14	848	Finish	Finish	
15	844	Grade	Grade	C35/45
16	989	GrossArea	GrossArea	11,16
17	977	GrossFootprintArea	GrossFootprintArea	1,8
18	973	GrossSideAreaGlobalXY	GrossSideAreaGlobalXY	1,8
19	965	GrossSideAreaGlobalXZ	GrossSideAreaGlobalXZ	0,18
20	957	GrossSideAreaGlobalYZ	GrossSideAreaGlobalYZ	3,6
21	949	GrossVolume	GrossVolume	1,08
22	925	GrossWeight	GrossWeight	2592
23	933	Height	Height	600
24	941	Length	Length	6000
25	836	Name	Name	BEAM
26	985	NetArea	NetArea	11,16
27	969	NetSideAreaGlobalXY	NetSideAreaGlobalXY	1,8
28	961	NetSideAreaGlobalXZ	NetSideAreaGlobalXZ	0,18
29	953	NetSideAreaGlobalYZ	NetSideAreaGlobalYZ	3,6
30	945	NetVolume	NetVolume	1,08
31	921	NetWeight	NetWeight	2592
32	868	Part_Mark	Part_Mark	Concrete_B-1(0?)
33	856	Phase	Phase	1
34	860	Preliminary_Mark	Preliminary_Mark	
35	840	Profile	Profile	600*300
36	917	StartX	StartX	3,13E-13
37	909	StartY	StartY	-8,82E-14
38	901	StartZ	StartZ	2,44E-14
39	893	Top_Elevation	Top_Elevation	0,6
40	829	Weight	Weight	2592
41	937	Width	Width	300

Figur 31: PropertySingleValue.

A	B	C	D
3	ID	Coordinates	Count
4	10	0 0 0 0 0 0	1
5	98	24 0 116 0 274 0	1
6	102	24 0 109 93782 270 5	1
7	106	5977 0 109 93782 270 5	1
8	110	5977 0 116 0 274 0	1
9	125	24 0 109 93782 263 5	1
10	129	5977 0 109 93782 263 5	1
11	144	24 0 116 0 260 0	1
12	148	5977 0 116 0 260 0	1
13	163	24 0 122 06218 263 5	1
14	167	5977 0 122 06218 263 5	1
15	182	24 0 122 06218 270 5	1
16	186	5977 0 122 06218 270 5	1
17	245	24 0 50 0 274 0	1
18	249	24 0 43 93782 270 5	1
19	253	5977 0 43 93782 270 5	1
20	257	5977 0 50 0 274 0	1
21	272	24 0 43 93782 263 5	1
22	276	5977 0 43 93782 263 5	1
23	291	24 0 50 000001 260 0	1
24	295	5977 0 50 000001 260 0	1
25	310	24 0 56 062178 263 5	1
26	314	5977 0 56 062178 263 5	1
27	329	24 0 56 062177 270 5	1
28	333	5977 0 56 062177 270 5	1
29	392	24 0 50 0 274 0	1
30	396	24 0 56 062178 270 5	1
31	400	5977 0 56 062178 270 5	1
32	404	5977 0 50 0 274 0	1
33	419	24 0 56 062178 263 5	1
34	423	5977 0 56 062178 263 5	1
35	438	24 0 49 999999 260 0	1
36	442	5977 0 49 999999 260 0	1
37	457	24 0 43 93782 263 5	1
38	461	5977 0 43 93782 263 5	1
39	476	24 0 43 93782 270 5	1
40	480	5977 0 43 93782 270 5	1
41	539	24 0 116 0 274 0	1
42	543	24 0 122 06218 270 5	1

Figur 32: CartesianPoint.

7.16 IFC kritik

På nettet findes en del kritik af IFC specifikationen, men dybden og kvaliteten af kritikken har været svær at vurdere i eksamensperioden. Kritikken peger dog meget i to forbundene, men modsatrettede retninger. Nogle mener, at IFC er for ambitiøst og aldrig vil dække hele byggeprocessen samt at løsningen derfor må være et mindre og mere fleksibelt system. Andre mener, at der må tilføjes ekstra funktionalitet til IFC, da man ikke mener at IFC specifikationen er tilstrækkelig. Løsninger her omfatter implementering af andre skriftsprog og en semantisk kodning. Min research peger på, at IAI vælger den sidste retning.

En del kritik går også på robustheden og at udviklingen af IFC går for langsomt. På trods af årelange udvikling af IFC er specifikationen langt fra komplet.

Kritik findes også af softwareproducenters manglende eller nølende implementering, som skaber en masse tidslommer hos brugerne.

"IFC skemaet for standard byggerier er ikke tilstrækkelig. Medmindre hver information som udveksles inden for byggeprojekts arbejdsgange har sit specifikke indhold og detaljeniveau, defineret, vil bredden og fleksibiliteten i IFC skemaet give plads til fejl " [Eastman, 2008].

Nedenstående figur 33 viser en benchmarktest udført af NIST. Der blev eksporteret IFC filer fra 4 forskellige applikationer af en identisk konstruktion. Filerne blev åbnet med IFCsvr og IFC File Analyzer. Resultatet var, efter min vurdering, en foruroligende forskellig detektering af entities i IFA, som ikke kan henføres til forskellig brug af attributter og subtypes. Selv antallet af supertypes får skemaet til at ligne en "Yatsi-blok".

	A	B	C	D	E	F	G
1	Entity	ArchiCAD	Bentley	Digital Project	Revit Building	Total Entities	Total Files
2	IfcBeam	16	9	34	18	77	4
3	IfcBuildingElementPart	3				3	1
4	IfcBuildingElementProxy	19	26		82	127	3
5	IfcColumn	31	4	15	5	55	4
6	IfcColumnType				2	2	1
7	IfcCurtainWall		42		4	46	2
8	IfcDoor	1	1		2	4	3
9	IfcFooting		15			15	1
10	IfcOpeningElement	12	90		8	110	3
11	IfcSlab	7	9	1	10	27	4
12	IfcStair	1	1		1	3	3
13	IfcStairFlight				1	1	1
14	IfcWall	4	3	3	5	15	4
15	IfcWallStandardCase	14			4	18	2
16	IfcWindow	4				4	1
17	IfcArbitraryClosedProfileDef	43	43		18	102	3
18	IfcArbitraryProfileDefWithVoids		7		1	8	2
19	IfcCircleProfileDef		2		2	4	2
20	IfcExtrudedAreaSolid	74	164		33	271	3
21	IfcRectangleProfileDef	31	112		14	157	3
22	IfcComplexProperty	98			60	158	2
23	IfcDoorLiningProperties	1			2	3	2
24	IfcDoorPanelProperties	2			2	4	2
25	IfcDoorStyle	1	1		2	4	3
26	IfcMechanicalConcreteMaterialProperties			1		1	1
27	IfcMechanicalSteelMaterialProperties			1		1	1
28	IfcPropertySet	98	8		362	468	3
29	IfcPropertySingleValue	392	67		1518	1975	3
30	IfcRelDefinesByProperties	98	8		362	468	3
31	IfcWindowLiningProperties	4				4	1
32	IfcWindowPanelProperties	4				4	1
33	IfcWindowStyle	4				4	1
34	IfcMaterial	3	26	2	3	34	4
35	IfcMaterialLayer	22			5	27	2
36	IfcMaterialLayerSet	22			5	27	2
37	IfcMaterialLayerSetUsage	22			6	28	2
38	IfcMaterialList	1				1	1
39	IfcRelAssociatesMaterial	96	26		9	131	3

Figur 33: Summary fane af benchmarktest af "precast concrete structure". Fra [NIST, 2010]

8. BEREGNINGSPROGRAM

8.1. Kravdefinering

Til eksamensprojektet ønskes at skabe en IFC-forbindelse for beregning af bygningselementer. Før dette gøres - må der opstilles nogle kriterier ud fra overordnede vurderinger, programopbygning, indholdet af programmet samt det ønskede resultat.

8.1.1 Overordnet

De ingeniørmæssige beregninger af bygningselementer skal i henhold til lovgivningen baseres på de fælles europæiske normer (Eurocodes) samt eventuelle danske annekser. Der skal foretages et valg af beregningsmetode, oftest blandt flere, som er foreneligt med udvikling af beregningsprogrammet og tiden til eksamensprojektet.

For at skabe et gennemsigtigt og overskueligt program – er det vigtigt at programvejen fra S-BIM til dimensionering er så kort som mulig. Alternativt skal der ved længere programvej tilføres egenskaber som kan berettiggende dette.

For at programmet kan finde almindelig anvendelse – er det vigtigt med tilgængelighed til programmet; altså at den anvendte applikationen har en rimelig udbredelse.

8.1.2 Programmet

I henhold til ovenstående betragtninger om kort programvej er der følgende løsninger:

- 1) Fra S-BIM via IFC til FEM og via IFC til beregningsprogram og tilbage via IFC til S-BIM.
- 2) Fra S-BIM via IFC til beregningsprogram og retur via IFC.
- 3) Fra S-BIM via IFC til IFCsvr og videre til beregningsprogram og retur via IFC til S-BIM.
- 4) Fra S-BIM via IFC til IFCsvr og IFC File Analyzer og til regneprogram og retur via IFC.

Den første løsning er opstillet, da de fleste FEM-programmer i dag indeholder både et statikmodul og et dimensioneringsmodul. FEM giver sammenkædning af elementer og den tidligere omtalte teori (kan) give beregninger med stor præcision og inkluderer andenordenseffekter. Løsning kunne således være, at spændingsberegning og dimensionering i FEM efter elasticitetsteorien kunne kombineres med regneprogram som kunne supplere med plasticitetsberegninger.

Den anden løsning er den korteste, men vil betinge at der skrives et VBA-modul i regneprogrammet for håndtering og forståelse af IFC-data. De programlinier som jeg har kunnet læse i IFCsvr er ikke særligt komplicerede, men vil kræve noget længere projektperiode. Løsning burde være mulig hvis eksamensprojekt var udført af 2 personer.

Den tredje løsning er således, at inkludere IFCsvr og acceptere det ekstra led.

Den fjerde løsning indeholder også IFC File Analyzer, som ville kunne bruges til strukturering og opdeling af IFC-data. Dette vil være nyttigt for at klargøre de arvede referencer, som omtalt i kapitel 7. Også de mange Cartesianpoints i IFC vil blive struktureret og kunne udnyttes lettere.

8.1.3 Indholdet

Såfremt der vælges en programløsning uden FEM – vil programmet skulle have indbygget en form for statik-modul, da snitkræfter ikke kan udledes i S-BIM. I MathCad vil der kunne opstilles nogle almene bjælke-differentialligninger, men brug og håndtering af dem vil kræve tid. En løsning kunne være en summation i Excel baseret på kraftmetoden, hvor de forskellige muligheder for celle-kopiering udnyttes.

Det vil være nyttigt, hvis de mange skemaer og tabeller i Eurocodes kunne omsættes til simple valgmuligheder eller om muligt kunne foretages automatisk. Excel er meget stærk inden for multifunktionsvalg.

Det ville også være interessant om der kunne programmeres nogle (macro)funktioner, som kunne udføre beregninger automatisk. Slutteligt ville nogle former for kontrolforanstaltning være attraktivt.

8.1.4 Resultat

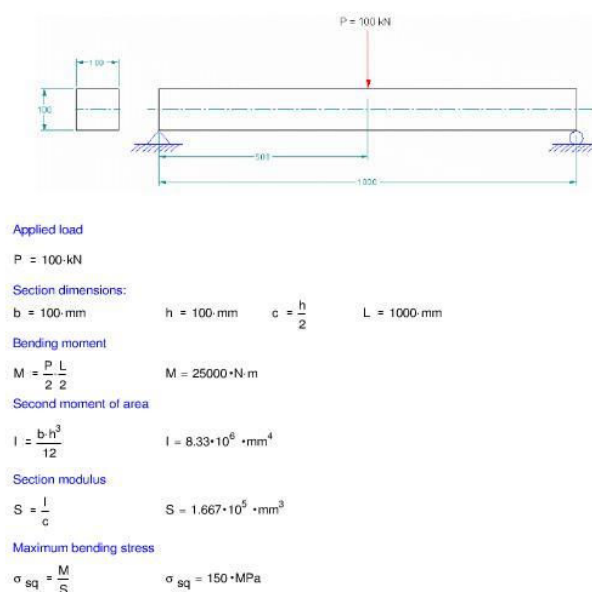
Med brug af programmet er ønsket, at opnå en betydelig rationalisering af tidsforbruget, hvilket skal opnås ved mulighed for hurtig ændring og korrigerende af beregninger. Herved kan opnås en optimering af materialeforbrug og materialekvaliteter.

Programmet skal ved import og eksport af IFC-data indlæse disse på en let og overskuelig måde, men programmet skal også kunne fungere uafhængigt af IFC-data. Programmet skal sikre en minimering af fejleregninger ved mulighed for valg blandt forudindtastede værdier. Det vil endvidere være ønskeligt om så mange parametre som muligt kan justeres, hvilket gerne skal give øget indsigt i materialeparametrenes indflydelse på det samlede beregningsresultat.

8.1.5 Middel

For at opnå dette resultat undersøges i de følgende afsnit:

- 1) Matematik-regneark
- 2) Celle-regneark



Figur 34: Screenshot af MathCad som viser typisk udseende.

8.2 Matematikprogram

Matematikprogrammerne går under navnet Numerical Analysis Software eller Computer Algebra Systems (CAS)⁸ og mange er skrevet i C (++) eller det klassiske matematikprog Fortran. De kendteste programmer er Mathcad, MatLab, Mathematica og Maple

De fleste CAS-programmer har i dag en brugervenlig windows-grænseflade med et Task baseret interface, hvilket gør dem lette og hurtige at bruge. Den operative grænseflade er meget lig et traditionelt Word-dokument, men hvor ligninger og udtryk opstilles og manipuleres i det samme grafiske format. Kombinationen af matematisk notation, beskrivende tekst, grafiske fremstillinger samt beregninger uden programmering har gjort dem populære i et bredt udsnit af ingeniørmæssige discipliner. Når et beregningsark er opbygget kan man editere i formlers forskellige input-variabler for optimering af beregninger, som levende bliver opdateret. CAS-programmer indeholder også mulighed for verifikation af resultater samt enhedskontrol.

8.2.1 Matematikprogram - sammenfatning

Efter mange kurser på DTU med anvendelse af Mathcad vil jeg liste nedenstående som de vigtigste matematiske funktioner:

- Numeriske funktioner
- Ligningssystemer og rødfinding
- Differential- og integralregning
- Matrix opstilling
- Beregning ved symbolsk matematik
- Vektor-regning

Men også andre overvejelser indgår ved et samlet valg. Derfor oplistes følgende fordele og ulemper ved et CAS-program:

CAS - Plus

- Dækker alle ingeniørmæssige beregninger
- Rigtig matematisk notation
- Import fra og eksport til andre programmer og filtyper, såsom Microsoft Excel
- Mathcad-regneark kan linke til andre regneark for genbrug
- Integration med tekniske applikationer såsom CAD, FEA og simuleringværktøjer
- Enhedskontrol og resultatverifikation

CAS - Minus

- Properitære formater
- Mindre udbredelse
- Manglende visuel understøtning med farver og grafik
- Manglende database (kan dog linkes til Excel)
- Manglende kontrol ved udskiftning af værdier
- Større fil-størrelser (5-10 Mb)

[8] Flere oplysninger på http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_algebra_system

Nyttigt link: http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_computer_algebra_systems

8.3 Celle-regneark

8.3.1 Indledning

Traditionelle celle-baserede regneark omtales ofte bare som excel-regneark. Tidligere var der konkurrerende kommercielle celle-regneark til Microsoft Excel, som for eksempel 123 Lotus og QuattroPro, men de eneste reelle konkurrenter til MS Excel er i dag free-ware programmer som OpenOffice Calc og Google Spreadsheets. Der findes stadig en del andre firmaer, som laver regnearksprogrammer, men de deles om en lille markedsandel.

I det følgende vil kun blive omtalt Excel, som er standarden for alle regneark.

Den engelske betegnelse for regneark er spreadsheet. I de følgende afsnit vil blive givet grundlæggende information

8.3.2 Microsoft Excel

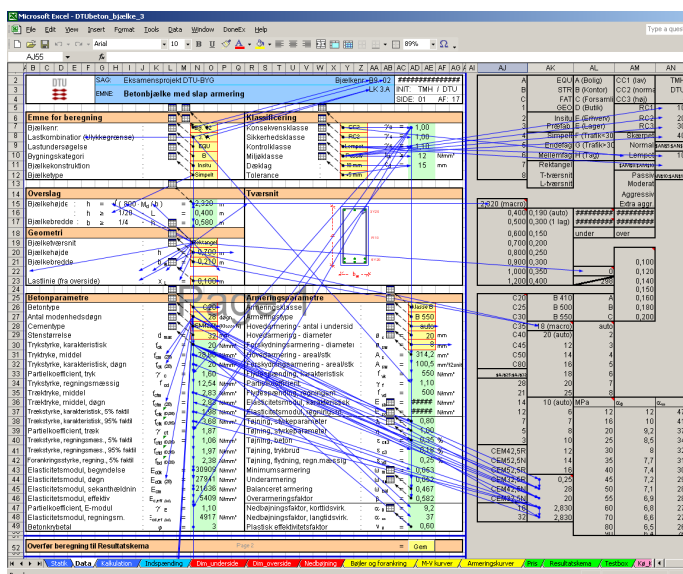
Microsoft Excel er et kommercielt regneark udviklet af Microsoft til brug med Windows operativsystem eller OS/2. Det bagvedliggende programmeringssprog kaldes Visual Basic for Applications (VBA).

Ved indtastning af numeriske værdier i celler kan udføres beregninger, opstilles pivottabeller, histogrammer og diagrammer samt analyseres og organiseres store datamængder som grundlag for statistiske, tekniske eller finansielle beslutninger. Regneark giver endvidere store muligheder for selektering og sektionering af data ved hjælp af filter- og scenariefunktioner.

Et regneark består af et eller flere arbejdsark, hvilket angives ved faner som vises nederst i skærmbilledet. Hver arbejdsark består af nummererede rækker og bogstavsangivende kolonner, som arrangerer et gitter. Skæringspunkter mellem rækker og kolonner danner rektangulære områder, som kaldes celler. En celle kan indeholde en værdi, en formel eller en tekst. En værdi kan enten være en konstant eller værdien af en formel. Tekst bruges til at forklare eller understøtte indholdet.

Det attraktive ved regneark er muligheden for at ændre en værdi eller en formel i en formel og se alle andre værdier, som er afhængige af denne værdi automatisk ændres. Sammenhørigheden mellem celler er illustreret ved nedenstående figur.

Microsoft Excel brugte frem til 2007-versionen et proprietær binært filformat kaldet Binary Interchange File Format (BIFF) som sit primære format. Fra Excel 2007 er anvendt OfficeOpen XML som sit primære filformat.



Figur 35: Eksempel på Trace Dependents i Excel

8.3.3 Excel - VBA programmering

Visual Basic for Application er en grænseflade til at designe og skrive makroer. Ved hjælp af VBA kan programmeres et utal af tidsbesparende funktioner. Med VBA-kommandoer kan opgaver automatiseres, så de giver ensartede resultater med langt større hastighed. Celler med tilhørende VBA-makro kan ikke overskrives, hvilket giver sikkerhed og kontrol med det udførte arbejde.

Kode kan skrives og redigeres ved hjælp af Visual Basic Editor (VBE) eller en Macro Recorder. Makrooptageren registrerer brugerens handlinger og genererer en VBA-kode i form af en makro. Med øvelse er VBE-skabte sub-rutiner dog mere fleksible og effektive. VBA-koden interagerer med regneark via Excel Object Model.

Tilgangen til programmeringen er oftest at forstå procestrinene og med øvelse kan programmeringen opbygges forlæns. Logikken kan ellers betinge baglæns programmering, da der arbejdes ud fra et resultatønske. Programmeringen understøttes af bibliotek med handlinger, da terminologier og syntaks er vigtige. Den største del af programmeringstiden bliver dog brugt på fejlfinding.

Den følgende er et eksempel på en VBA-macro, som specifikt indlæser IFCsvr i modulet "This Workbook":

```
Private Sub Workbook_BeforeClose(Cancel As Boolean)
```

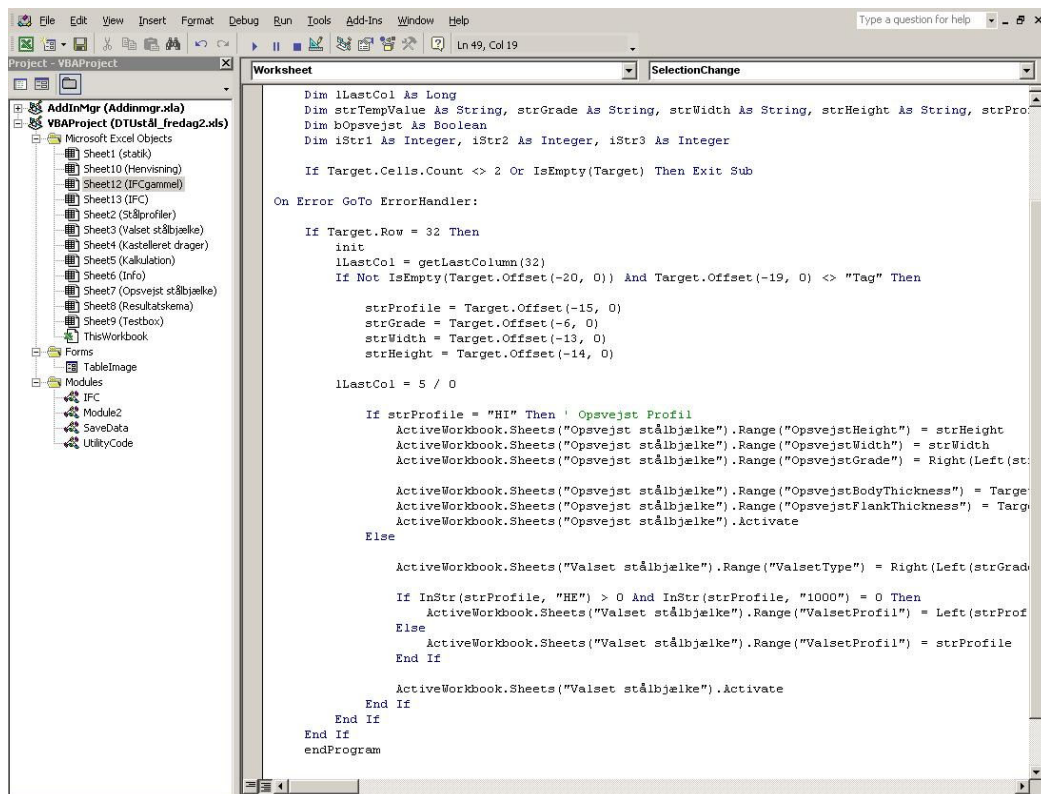
```
    AddIns("IFCsvr.300").Installed = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Workbook_Open()
```

```
    AddIns("IFCsvr.300").Installed = True
```

```
End Sub
```



```

Dim lLastCol As Long
Dim strTempValue As String, strGrade As String, strWidth As String, strHeight As String, strProfile As String
Dim bOpsvejst As Boolean
Dim iStr1 As Integer, iStr2 As Integer, iStr3 As Integer

If Target.Cells.Count <> 2 Or IsEmpty(Target) Then Exit Sub

On Error GoTo ErrorHandler:

If Target.Row = 32 Then
    Init
    lLastCol = GetLastColumn(32)
    If Not IsEmpty(Target.Offset(-20, 0)) And Target.Offset(-19, 0) <> "Tag" Then

        strProfile = Target.Offset(-15, 0)
        strGrade = Target.Offset(-6, 0)
        strWidth = Target.Offset(-13, 0)
        strHeight = Target.Offset(-14, 0)

        lLastCol = 5 / 0

        If strProfile = "HI" Then ' Opsvejst Profil
            ActiveWorkbook.Sheets("Opsvejst ståbjælke").Range("OpsvejstHeight") = strHeight
            ActiveWorkbook.Sheets("Opsvejst ståbjælke").Range("OpsvejstWidth") = strWidth
            ActiveWorkbook.Sheets("Opsvejst ståbjælke").Range("OpsvejstGrade") = Right(Left(strGrade, lLastCol - 1))

            ActiveWorkbook.Sheets("Opsvejst ståbjælke").Range("OpsvejstBodyThickness") = Target.Offset(-1, 0)
            ActiveWorkbook.Sheets("Opsvejst ståbjælke").Range("OpsvejstFlankThickness") = Target.Offset(-2, 0)
            ActiveWorkbook.Sheets("Opsvejst ståbjælke").Activate
        Else
            ActiveWorkbook.Sheets("Valset ståbjælke").Range("ValsetType") = Right(Left(strGrade, lLastCol - 1))

            If InStr(strProfile, "HE") > 0 And InStr(strProfile, "1000") = 0 Then
                ActiveWorkbook.Sheets("Valset ståbjælke").Range("ValsetProfile") = Left(strProfile, lLastCol - 1)
            Else
                ActiveWorkbook.Sheets("Valset ståbjælke").Range("ValsetProfile") = strProfile
            End If

            ActiveWorkbook.Sheets("Valset ståbjælke").Activate
        End If
    End If
End If
endProgram

```

Figur 36: Grænseflade i VBA

8.3.4 Excel - Add-Ins

En Add-In er et tilføjelsesprogram, som Excel kan indlæse ved opstart. Filen indeholder kode, der tilføjer ekstra funktionalitet til Excel, som regel i form af nye brugerdefinerede funktioner, der ikke er standard i Excel. Add-ins af .xla-typen er almindelige regneark, men som ligger usynligt i baggrunden.

Med Add-ins kan subprocedurer og funktioner genbruges i alle eksisterende og fremtidige projektmapper, således at man ikke behøver kopiere disse over i nye regneark.

I projektet er IFCsvr indlejret i Excel som .xll

De vigtigste fil-extensions er:

- .xls/.xlsx Mest almindelige format, som indeholder data til regneark og makroer
- .xla/.xlam Add-in, som tilføjer brugerdefineret funktionalitet skrevet i VBA
- .xlm/.xlsm Makro, som er oprettet af brugeren eller præinstalleret med Excel.
- .xll DLL Add-in, som tilføjer brugerdefineret funktionalitet, skrevet i C++/C, Visual Basic, Fortran mf. og samlet i en særlig dynamisk Link Library

8.3.5 Excel - Sammenfatning

Efter mange års brug vil jeg liste nedenstående som de vigtigste matematiske funktioner i Excel:

- Aritmetiske operationer
- Numeriske funktioner
- Trigometriske funktioner
- Statistiske funktioner
- Differentialregning
- Logiske funktioner

Af andre kvaliteter eller ulemper med indflydelse på valg af beregningsprogram kan nævnes:

Excel Plus

- 100% tilgængelighed
- Brug med eller uden computermus og tastatur
- Hyperlinks mellem Microsoft-programmer
- Makroer
- Add-ins – findes med mange matematiske funktioner
- Database - link med SQL database som Access
- Gruppering Sortering og Filter: sortering af data, og frasortering af gentagelser
- Datavalideringer med befæstede data fra dropdown-menuer
- Side layout med understøtning af farver
- Mindre fil-størrelser (1-2 Mb)

Excel Minus

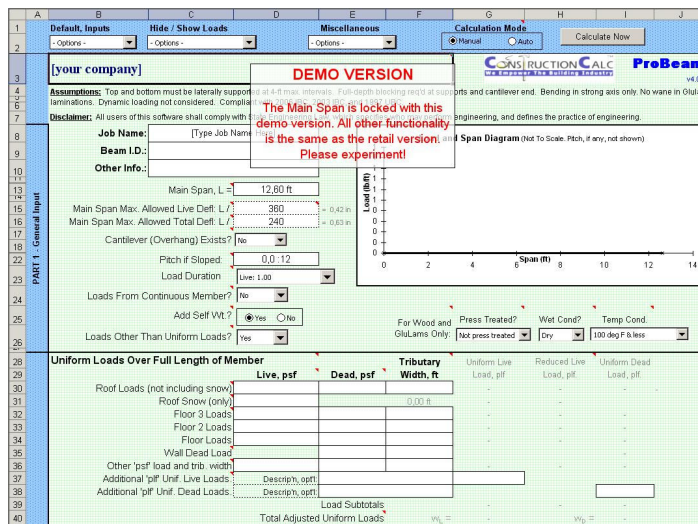
- Mangler som standard en del tunge matematiske funktioner
- Mangler matematiske notationer (findes dog som Add-in)

8.4 Excel – Gratis alternativ

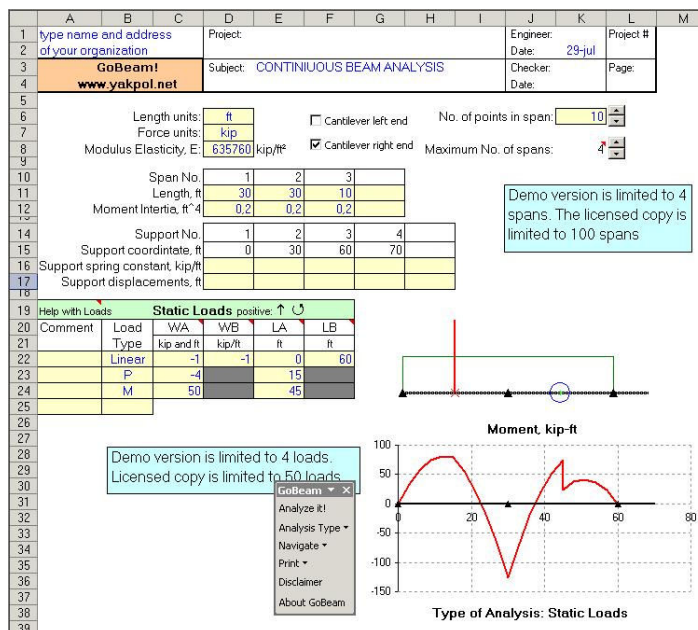
Alternativet til en Excel desktop-applikation er en online-applikation, som Google Spreadsheets. Web-baserede regneark er ikke afhængige af et bestemt operativsystem eller lignende begrænsninger og er derfor generelt mere fleksible. Google Spreadsheets understøtter ikke VBA, men Javascript-baserede formler, der er ganske kraftige og udtryksfulde. Online-regneark har endvidere den feature at flere brugere kan arbejde samtidig på samme regneark.

8.5 Excel - Kommercielle beregningsprogrammer

På markedet findes en del kommercielle regneark, som alle er kendetaget ved kun en fane for indtastning af værdier, men hvilke formler som anvendes og hvordan – er der ikke adgang til at se. Således må brug af regnearkene baseres på tiltro til deres evne til korrekt beregning. I programmerne ses da ofte også fraskrivning af ansvar fra programudvikleren. De fundne programmer var beskyttet af ophavsrettigheder og har ingen adgang til VBA-modul for tilføjelse af programlinier til IFC import/eksport.



Figur 37: ProBeam (US).



Figur 38: GoBeam (US).

8.6 Valg af beregningsprogram

Nok indeholder CAS-programmer en række stærke værktøjer til fx analyse af numeriske spændingsfordelinger, stokastisk variable/fordelinger for laster, rækkeudviklinger (Fourier) mm - men det meste dimensioneringsarbejde i henhold konstruktionsnormer er sammenfattet og oversat helt eller delvis til "empiriske" formler. Således kan Excel understøtte næsten alle almindelige konstruktionsberegninger.

Som oplyst i foregående afsnit indeholder både CAS-programmer og celle-regneark mange kvaliteter. Ved mindre data-sæt og til matematisk modellering af formler i forbindelse teoretiske og forskningsmæssige studier – vil jeg nok foretrække et CAS-program. Ved større data-sæt – falder valget på celle-regneark.

Til programmet skal også implementeres en form for bibliotek til bjælkeprofiler. Mathcad kan kobles sammen med Excel/Access, der så fungerer som database. Dette medfører dog et ekstra programled på vejen fra S-BIM til resultatbehandling, hvilket tilsiger en løsning med Excel.

Et celle-regneark til afvikling af beregningsprogrammet findes på næsten alle computere eller kan downloades gratis. CAS-programmer er forholdsvis bekostelige, er mindre udbredte, og markedet deles af flere firmaer med proprietære programformater.

Det afgørende valg skal i midlertidigt betragtes som mere "holistisk". Som omtalt i tidligere afsnit om den historiske udvikling i byggeriet og i afsnit om BIM og IFC – så er den åbenhed og tilgængelighed som kan opnås ved at programmet udvikles i Excel - på linie med ideen om BIM og IFC.

På internettet kan findes mange debatter om emnet "Excel versus Mathcad".

9. S-BIM MODELLERING

9.1 Indledning

For konstruering af bjælkeelementer for S-BIM skal der vælges et CAD-program med mulighed for objekt orienteret modellering samt IFC export og import. Et valg er også betinget af adgang til softwaren. Både Autodesk Revit Structures 2012 og Tekla Structures 17 er gennem studieversioner stillet til rådighed via firmaernes campus-extranet.

Den 4-5. april blev der i eksamensperioden gennemført et introduktionskursus i Tekla på DTU under vejledning af Brian Jønck fra Tekla Danmark.

Da undertegnede ikke tidligere har arbejdet med OOM eller S-BIM er der i eksamensperioden blevet evalueret både Revit og Tekla. Valget er faldet på Tekla grundet programmets omfattende muligheder for konstruktionsmodellering samt Tekla's API, som giver store muligheder for manipulation af data.

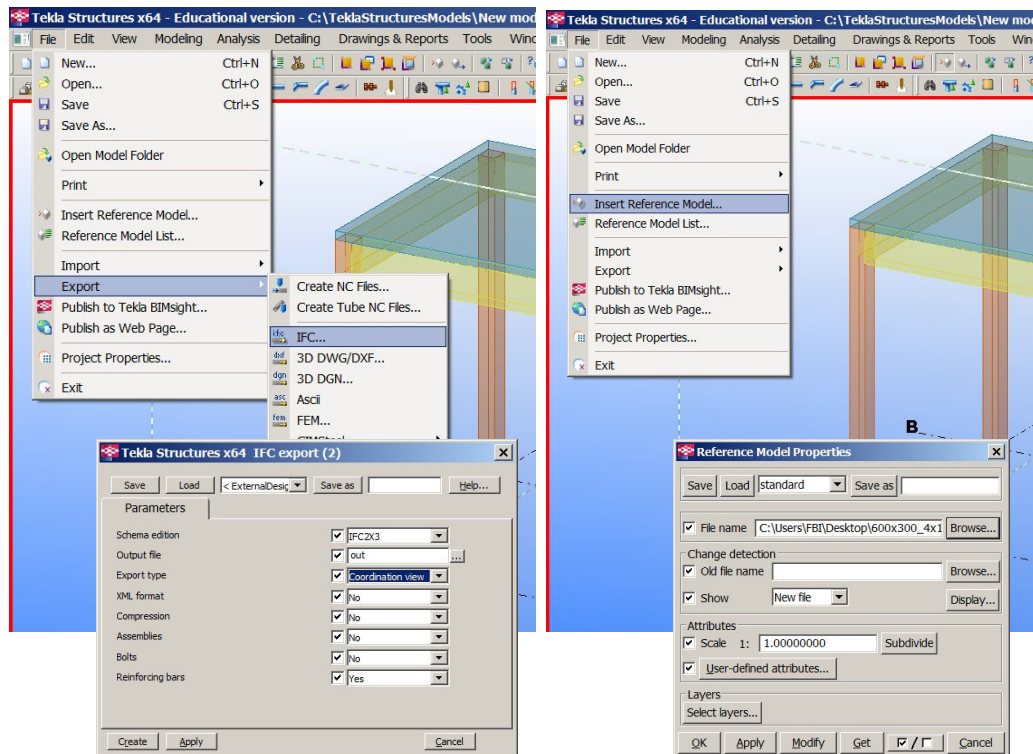
9.2 Tekla historik

Tekla er en finsk software virksomhed grundlagt i 1966 med cirka 500 medarbejdere, og er netop opkøb af amerikanske Trimble i sommeren 2011. Trimble er den største producent af GPS- og landmålerudstyr i USA.

Ved sammenlægning af applikationerne X-Steel og X-Engineer blev navnet ændret til Tekla Structures. En programlicens koster ca. 100.000 kr. plus 20.000 kr. per år til servicering for hver licens. Konkurrerende programmer koster omkring 20-30.000 kr.

9.3 Tekla export/import

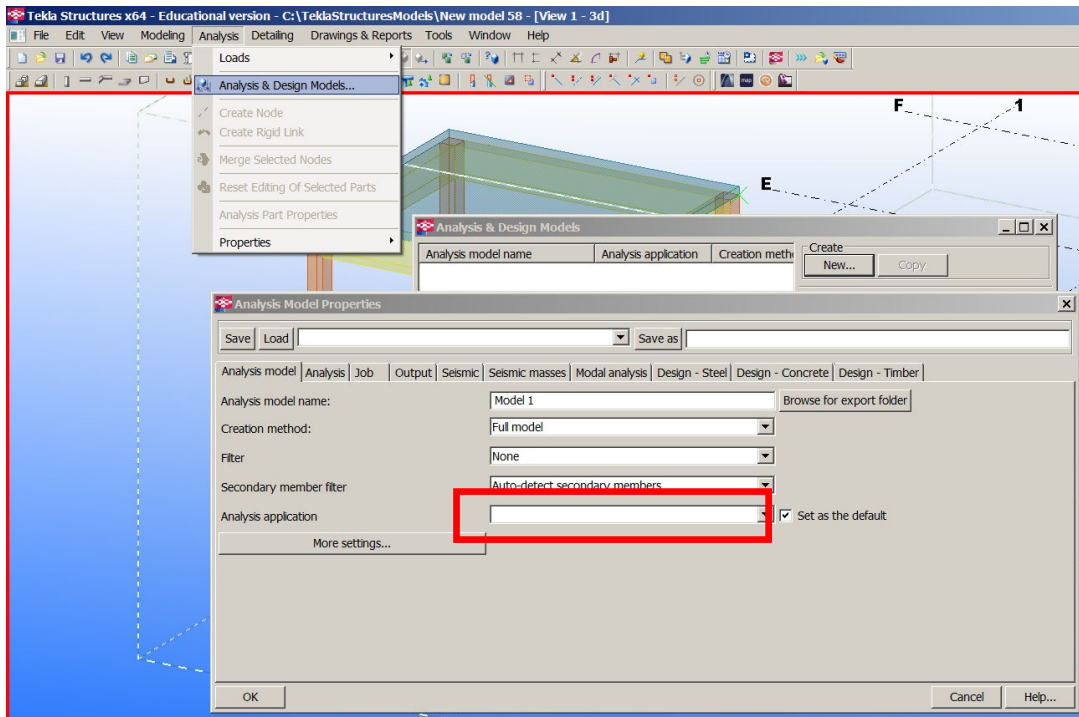
Fra Tekla er der mulighed export/import via "Coordination View". Fra analyse-del i Tekla er der mulighed for export i IFC 2x3. Om dette er i "Structural View" fremgår ikke specifikt, men dette formodes.



Figur 39: IFC export i Coordination View.

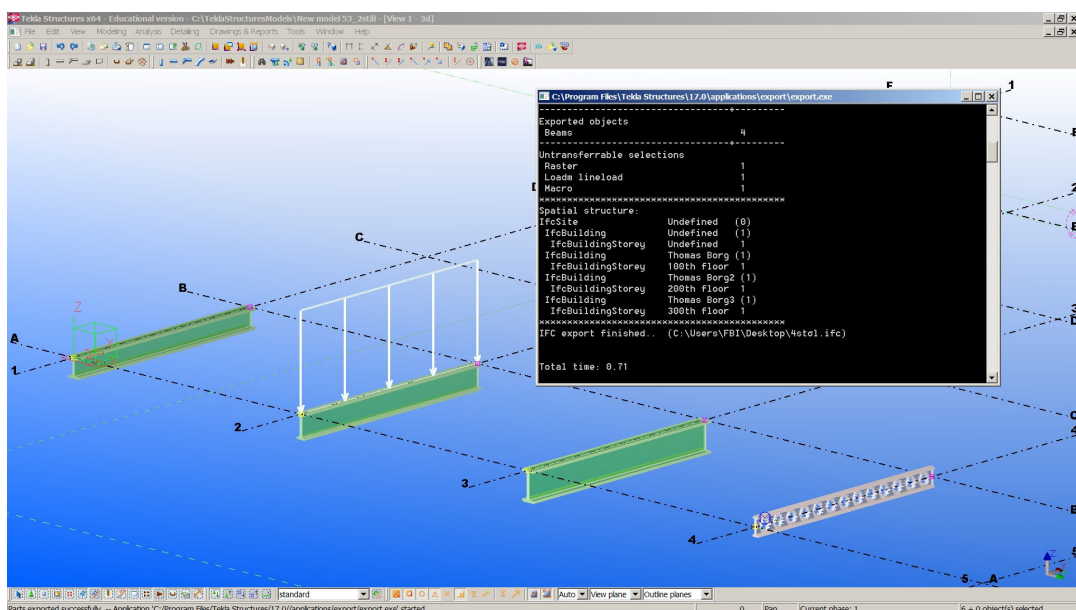
Figur 40: IFC import som Reference Model

I forbindelse med eksamensprojektet har der 3 gange været manglende mulighed for export af IFC-data. Af nedenstående figur 41 kan der i den røde ramme ses manglende valgmulighed mellem IFC 2x2 og 2x3 fra dropdown-menuen. En løsning blev fundet i slutningen af eksamensperioden ved installation af både Tekla 15.0 og Tekla 17.0 samt nogle registreringsfiler emailt fra Tekla Finland. Men figuren viser måden at exportere analyse IFC-filer på.



Figur 41: Manglende IFC export fra Analysis & Design (Structural View)

Efter export af de valgte konstruktionselementer fra Tekla til IFC-fil fremkommer nedenstående sorte skærm-billede, som fortæller kort om succesfuldt eller ikke-succesfuldt export opdelt i elementtyper.



Figur 42: Skærm-meddelelse efter IFC export.

9.4 Tekla IFC prioritetsliste

I forbindelse med undersøgelse af Teklas eksportmuligheder – er der udarbejdet en prioritetsliste over data, som kunne være nødvendige eller interessante at behandle. De nedenfor anvendte farver til markering af "vigtighed" i skema 1 - er også benyttet i fanen "IFC" i Excel-beregningsprogrammet.

Betonbjælke		
Meget vigtige	Vigtige	Mindre vigtige
GUID	Lastkombination	Flydespænding, karakteristisk
Bygningskategori	Lastundersøgelse	Elasticitetsmodul, karakteristisk
Bjælkekonstruktion	Dæklag	Tværsnitsareal
Konsekvensklasse	Materiale	Inertimoment Iy
Sikkerhedsklasse	Højde	Rumvægt
Kontrolklasse	Bredde - krop	Vægt pr. meter
Miljøklasse	Bredde - flange	Bjælkepris
Bjækelængde	Betontype	
Linielast, start	Cementtype	
Linielast, slut	Stenstørrelse	
Punktlast:	Trykstyrke, karakteristisk	
Punktlast afstand fra A	Armeringsklasse	
Endemoment i A	Armeringstype	
Endemoment i B	Hovedarmering - diameter	
	Hovedarmering - antal	
	Hovedarmering - øverst	
	Hovedarmering - næstøverst	
	Hovedarmering - næstnederste lag	
	Hovedarmering - nederste lag	
	Bøjlearmering - diameter	
	Bøjlearmering - afstand	

Stålbjælke		
Meget vigtige	Vigtige	Mindre vigtige
GUID	Lastkombination	Flydespænding, karakteristisk
Bygningskategori	Lastundersøgelse	Elasticitetsmodul, karakteristisk
Bjælkekonstruktion	Materiale	Inertimoment om bøjningsplan
Konsekvensklasse	Ståltipe	Modstandsmoment, elastisk
Sikkerhedsklasse	Profil	Modstandsmoment, plastisk
Materiale kontrolklasse	Højde	Rundinger
Materialegruppe	Bredde	Tværsnitsareal
Bjækelængde	Kropstykkelse	Rumvægt
Linielast, start	Flangetykkelse	Vægt pr. meter
Linielast, slut		Bjælkepris
Punktlast		
Punktlast afstand fra A		
Endemoment i A		
Endemoment i B		
Bøjningsplan		

Meget vigtige	Betinget af den samlede projektering og kan ikke bare fastsættes.
Vigtige	Ikke betinget. Valg kan træffes, men IFC-export vigtig.
Mindre vigtige	Ikke betinget. Værdier kan udregnes og kan exporteres.

Skema 1: Prioritetsliste for betonbjælke og stålbjælke.

9.5 Tekla Open API

Tekla Open API (applikations-programmerings-interface) giver brugere og leverandører mulighed for at udvikle plug-in-programmer og ekstra funktionalitet. Tekla Open API implementeres ved hjælp af Microsoft .NET-teknologi, og alle COM- eller .NET-kompatible programmer, som f.eks. databaseprogrammer, der er baseret på MS Access, Excel, Word eller Mathcad.

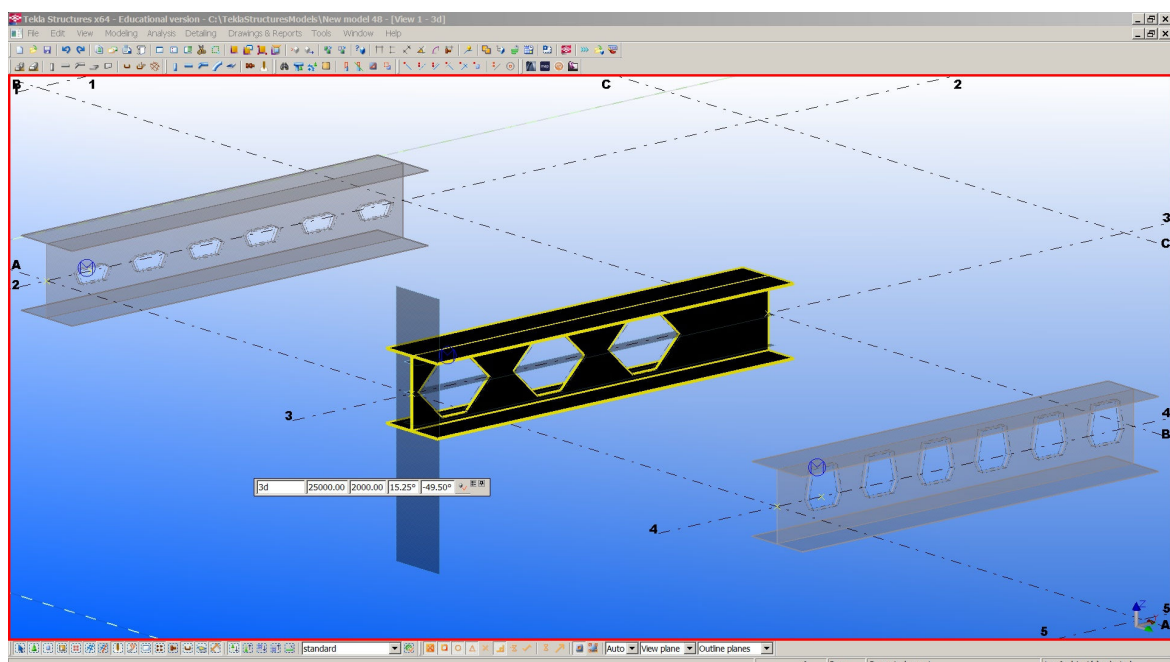
Gennem denne modelleringsplatform kan skabes et **direkte link** til et program, som modtager data fra en Tekla-model. Program udfører beregninger og sender derefter resultaterne tilbage til modellen.

Under eksamensprojektet er der eksperimenteret med Tekla Open API og mulighederne for "Custom Components", hvor der kan opbygges parametriske modeller. Der blev benyttet en Add-in løsning hvor Excel lægges ind i Tekla biblioteket.

På grundet af nedbrud af Tekla samt efterfølgende af- og reinstallation – så gik API løsningen desværre tabt. Den anvendte løsning var lig den i [Hejnfeldt & Øksengaard, 2007], hvor de benyttede API til dimensionering af en samlingsdetalje.

Da omtale alligevel medtages skyldes det, at jeg nåede at udføre flere import og eksport af den kastede drager dokumenteret ved de følgende screendumps.

Nedenstående screendump (figur 43) viser 3 kastede dragere, hvor hulstørrelser samt hulform er justeret. Alle 3 profiler blev ændret flere gange gennem API og forblev "intelligente".



Figur 43: 3 kastede dragere modificeret gennem Tekla Open API.

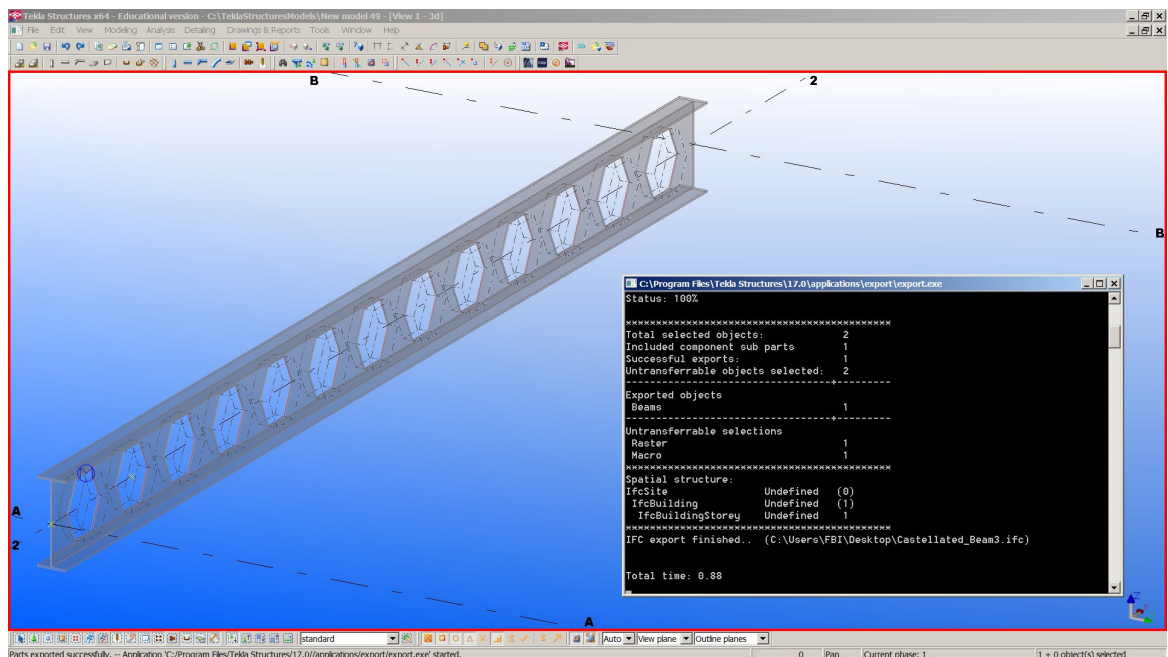
9.6 Tekla. Kastelleret drager

I figur 44 er vist den parametriske opbygning af den kasterede drager i Tekla's "Costum Components". Det ses at notation er meget lig den som anvendes i Excel. Brian Jønck fra Tekla Danmark var behjælpelig med opbygningen.

Af figur 45 ses standardudgaven af den parametriske opbyggede drager med en opskæringshøjde for hullerne på 2/3 af profilhøjden.

Category:	Name	Formula	Value	Value type	Variable type	Visibility	Label in dialog box
Component parameters	P1	450.00	450.00	Length	Parameter	Show	Beam Height
Model parameters	P2	7.10	7.10	Length	Parameter	Show	Web Thickness
	P3	10.70	10.70	Length	Parameter	Show	Flange Thickness
	P4	150.00	150.00	Length	Parameter	Show	Beam Width
	P5	= "H" + int(P1) + "-" + int(P2) + "-" + int(P3) + "*" + int(P4)	H450-7-10*150	Profile	Parameter	Hide	
	P6	S235JR	S235JR	Material	Parameter	Show	Material
	P7	1	1	Number	Parameter	Show	Class
	P8	300.00	300.00	Length	Parameter	Show	Height
	P9	150.00	150.00	Length	Parameter	Show	Width
	P10	75.00	75.00	Length	Parameter	Show	Edge Width
	P11	150.00	150.00	Length	Parameter	Show	Distance to beam end
	P12	1	1	Number	Parameter	Show	
	P13	C	C	Text	Parameter	Show	
	P14	CB	CB	Text	Parameter	Show	
	P15	1	1	Number	Parameter	Show	
	P16	BEAM	BEAM	Text	Parameter	Show	Beam Name
	P17	=P9*2+P10*2	450.00	Length	Parameter	Hide	Distance Between Castellations
	P18	=int(P19/(D7+P9))-1	12.00	Length	Parameter	Hide	Number Of Castellations
	P19	=ftpl("LENGTH",S87)	6000.00	Length	Parameter	Hide	LENGTH
	D14	0.00	0.00	Length	Distance	Hide	
	D13	0.00	0.00	Length	Distance	Hide	
	D7	=P9+P10*2	300.00	Length	Distance	Hide	
	D6	=P9+P10	225.00	Length	Distance	Hide	
	D5	=P9+P10	225.00	Length	Distance	Hide	
	D4	=P10	75.00	Length	Distance	Hide	
	D3	=P10	75.00	Length	Distance	Hide	
	D2	0.00	0.00	Length	Distance	Hide	
	D1	=P11	150.00	Length	Distance	Hide	
	D8	0.00	0.00	Length	Distance	Hide	
	D9	=P8/2	150.00	Length	Distance	Hide	
	D10	=P8/2	150.00	Length	Distance	Hide	

Figur 44: Parametrisk opbygning af kasterede drager i "Costum Components"



Figur 45: IFC export af kasterede drager (Coordination View)

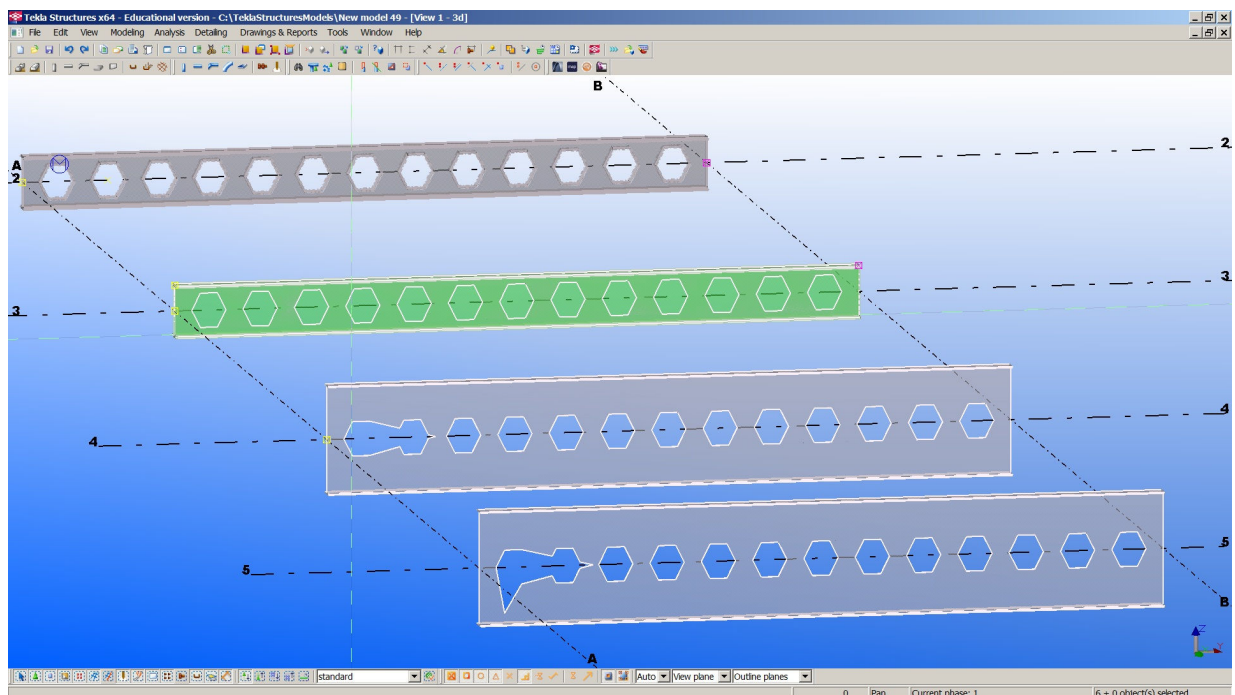
Nedenstående figur 46 viser den kastede drager genindsat 4 gange i Tekla efter export.

Den øverste bjælke er parametriske opbygget i Tekla og gennem API overført til beregningsprogrammet, hvor huller blev gjort en anelse mindre. Opdateret i Tekla er bjælken stadig parametriske redigerbar. Med andre ord virker API-forbindelsen.

Den næstøverste drager er også opbygget i Tekla, hvorefter den er eksporteret via IFC's Coordination View. IFC-filen blev urørt importeret til Tekla igen som Reference Model. Resultatet er at hexagonerne i profilets længderetning er forsvundet, selvom deres omrids stadig vises. Som reference model kunne profilet i sagens natur ikke manipuleres.

Den næstnederste bjælke er IFC-eksporteret kopi af den midterste grønne bjælke. IFC-filen blev åbnet i Notepad og analyseret. Geometri blev ændret manuelt og re-importeret i Tekla. Resultatet er til dels positivt, da de geometriske ændringer er gennemført. Nær dragerens venstre ende er der i midlertidigt sket en fejl ved at de to første hexagoner tager en muteret form. Da dette profil, lige som det midterste grønne profil, bliver indsat med lukkede huller – blev det forsøgt at "explodere" profilet for at frigøre det som reference model. Dette medførte at profilet knapt kunne genkendes af Tekla. Der kunne ikke fortages nogen ændringer i profilet.

Som kontrol blev samme procedure gentaget for det nederste profil. Resultatet var helt analogt med den tredje bjælke, dog med en lidt anderledes mutation ved venstre ende.



Figur 46: 4 kastede dragere med 3 forskellig slags import.

En forsigtig konklusion for baggrund af denne test må være, at:

- Tekla kan importere/exportere geometrien gennem API.
- Tekla forsimples geometrien ved IFC import/eksport.
- Via IFC-filen kan geometri ændres.

Tankeslutningen må derfor være, at problemet ligger i Tekla IFC-importen.

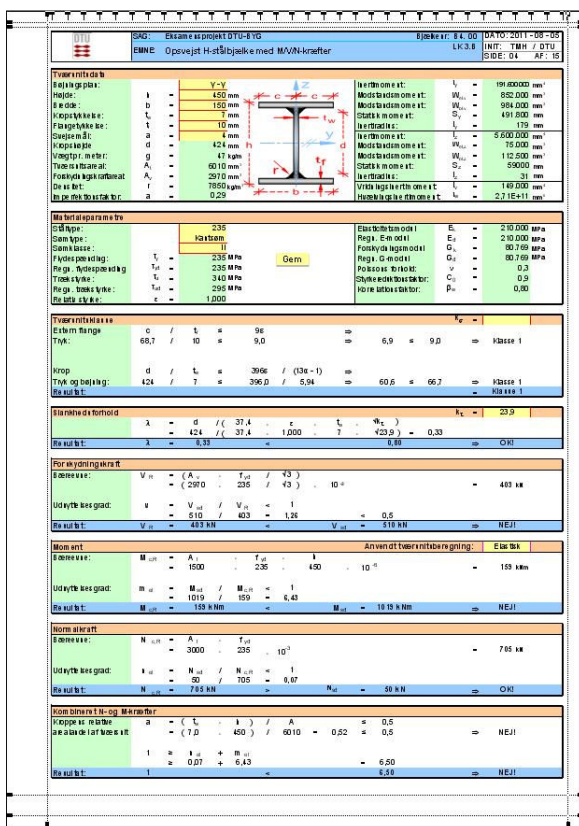
10. BEREGNINGSPROGRAM

I dette kapitel følger grundlæggende forklaringer og overvejelser for opbygningen af regneprogrammerne. I separate kapitler gives nærmere beskrivelser af stål- og betonregneark.

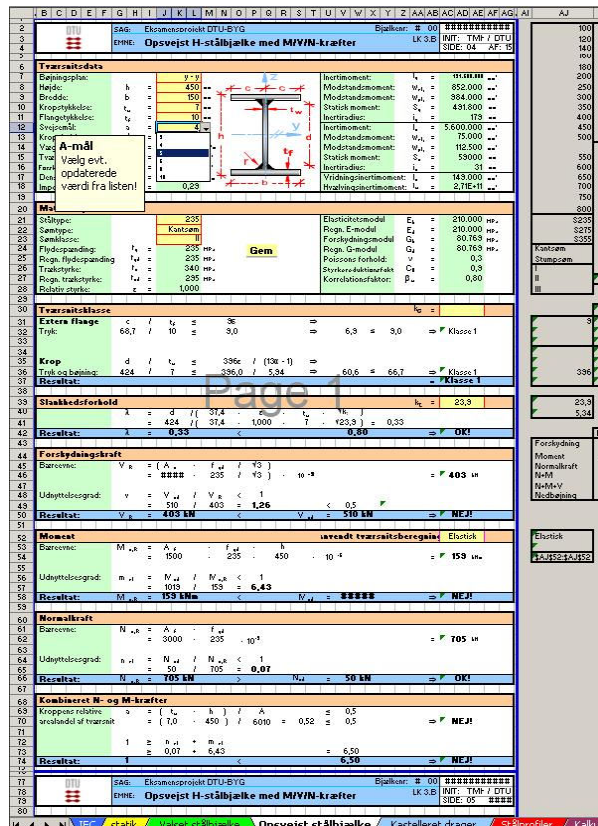
10.1 Indledende forklaringer

Alle faner i begge programmer er lavet med en sideopsætning, som tilgodeser udprintning, hvilket kan ses af Figur 47 og 48 som stort set har samme størrelse.

Cellestørrelser er et kompromis mellem små celler, som giver fleksibel opstilling – og lidt større celler, som giver lettere indtastning og bedre overblik.



Figur 47: Print layout



Figur 48: Side-layout

Regnearkene har en header med opdateret datoangivelse og side/ af antal sider. Faner kan indeholde flere udprintningssider og sideskift markeres med ny header.

Celler med **lysegul** farve og rød ramme indikerer indtastningsmulighed. I alle disse celler er der lavet dropdown-mener ved hjælp af datavalidering. Værdi hertil findes til højre i det grå område (uden for udskriftsområde). Af samme grund er det valgt, at lade beregningerne fremstå i "pagelayout", så der tydeligt er skildring mellem beregningsområde og dataområde.

Mange dropdown-mener har forklarende tekst, som kommer til syne ved berøring af cellen.

Som udgangspunkt er det valgt kun at have 8 værdier i hver dropdown-menu, da et større antal end det medfører en scrollbar i vinduet. For valsed stålprofiler, som hentes fra biblioteksfaner "Profiler" er alle profiler dog medtaget.

Faner (worksheets) er markeret med farver, og placeret efter "workflow". Faner af samme type for eksempel under- og oversidearmring er givet samme farve.

Lyseblå rækker fremhæver resultatlinie. Alle resultatlinier indeholder verifikation om et krav er overholdt ved et: "OK!" eller "NEJ!". Enkelte steder er der tilføjet supplerende tekst.

For at give fleksibilitet - det er valgt at indbygge forskellige "overrulings"-funktioner i regnearkene. Dette betyder at regnearkene selv kan fuldføre en beregning ("auto"), men at en parameter indledningsvis eller undervejs kan ændres ved et manuelt valg som regnearket så vil benytte i stedet. For at opnå disse automatiske valg har det været nødvendigt at opstille specielle ligninger, hvilket omtales senere.

Som eksempel ses på nedenstående figur 51 en gul celle i AD28. Hvis "auto" benyttes vil programmet selv beregne armeringsmængde. Men nogle gange vil et manuelt valg være at foretrække, da et bestemt antal armeringsstænger er ønskeligt ud fra konstruktive hensyn eller for eftervisning af nedbøjning i en anden lastkombination.

	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
25	Armeringsparametre															
26	Armeringsklasse	:											klasse B			
27	Armeringstype	:											B500			
28	Hovedarmering - antal i underside	:											auto			
29	Hovedarmering - diameter	:							\emptyset_s	=			auto			
30	Forskydningsarmering - diameter	:							\emptyset_{sw}	=			2			
31	Hovedarmering - areal/stk	:							A_s	=			4			²
32	Forskydningsarmering - areal/stk	:							A_{sw}	=			5			² /2snit
33	Flydespænding, karakteristisk	:							f_{vk}	=			6			mm ²
34	Partielkoefficient:	:							γ_f	=			7			
35	Flydespænding, regningsm.	:							f_{vd}	=			455			N/mm ²
36	Elasticitetsmodul, karakteristisk	:							E_{sk}	=			200000			N/mm ²
37	Elasticitetsmodul, regningsm.	:							E_{sd}	=			182000			N/mm ²

Figur 51: Princip for opstilling af beregninger.

Et klassisk problem med regneark er dropdown-menuers manglende "reset" ved nye beregninger. En sådan dropdown-menu ses også af celle AD28 i figur 51. Dette er løst for udvalgte celler ved hjælp af VBA-makroer - således skal man ikke bekymre sig om "fastlåste" celler.

Når en generel skabelon for layout og indgangsdata er udformet - så kan et nogenlunde fungerende regneark hurtigt indtastes. Det tidskrævende arbejde består dog i indtastning af de mange multifunktionsvalg, macro-funktioner, rullegardiner med valgmuligheder, "JA!/NEJ!/OK!" kontrolforanstaltninger, "IF/OR/AND"-betingelsessætninger, automatiske valg og beregninger. Jeg vil anslå, at 90% af tiden ligger i dette arbejde.

En del arbejde har også bestået i, at give mulighed for (at vælge) blanke celler. Traditionelt vil manglende indtastning af en værdi i en celle medføre fejlmeddelelser som "ERROR" eller "NUM". Med en blank (tom) celle er det muligt at indikere, at der **ikke** er truffet et valg og/eller at værdien ikke er nul.

Slutteligt er det i udpræget grad valg at benytte farver og rammer til at fremhæve afsnit, indtastningsfelter, overskrifter, resultater osv. Dette giver et langt bedre overblik.

For hurtig tilgang til regnearkene skal følgende gentages:

- Gul : Mulighed for indtastning eller valg fra dropdown menu.
- Grøn : Automatisk beregning baseret på indtastning i gule celler.
- Blå : Resultat af beregning.

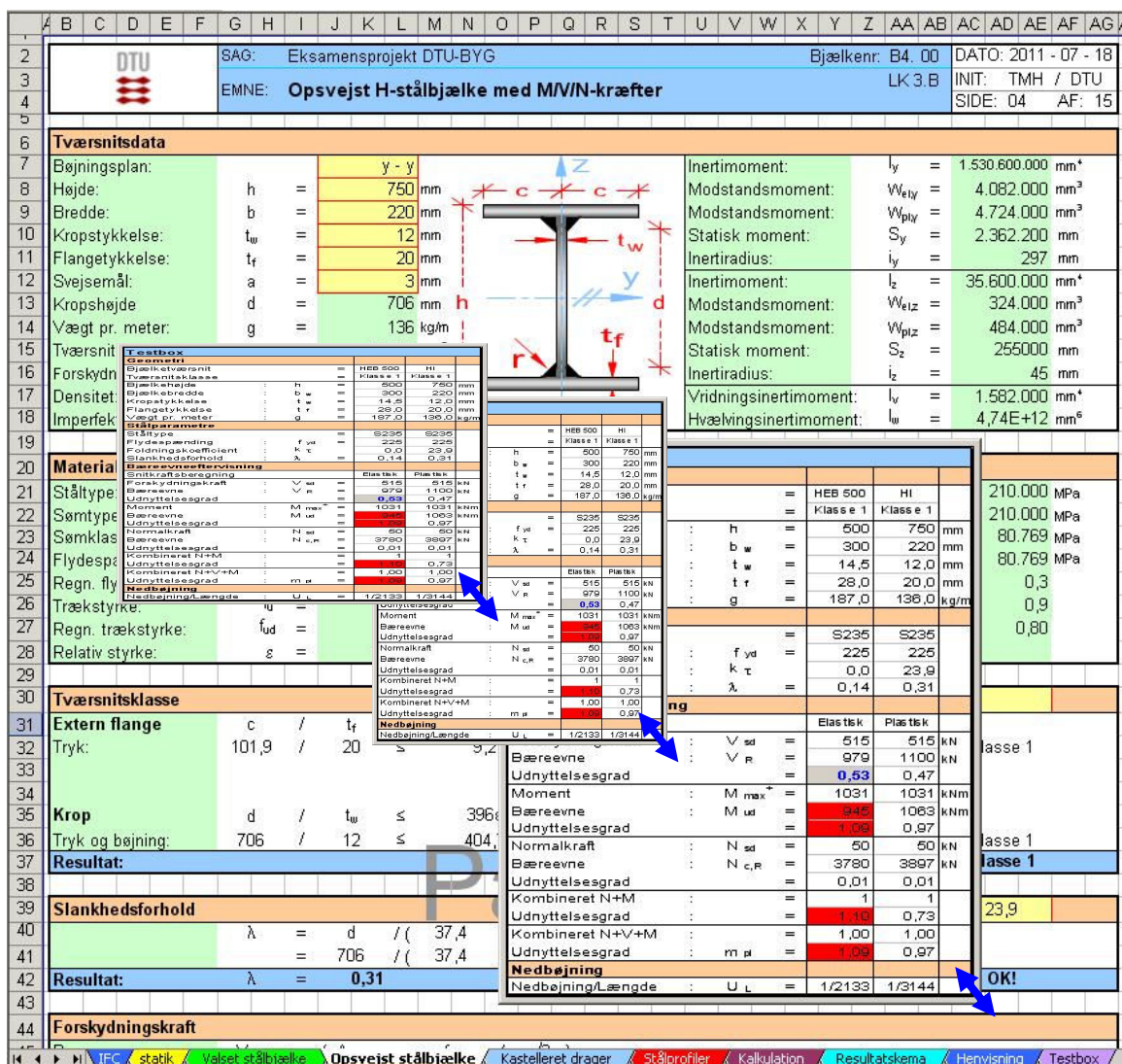
10.1.3 Testbox

Til programmet er udviklet en testbox i VBA, som aktiveres ved dimensionering af bjælke via de gule celler. Testboxens funktion er at man hele tiden kan følge beregningerne overalt i regnearket. Testboxen kan også bruges mere stationært, således at man under optimering af profildimensioner løbende kan følge resultatet uden at skulle scrolle rundt i regnearket.

Testboxen løser dermed dilemmaet mellem een kortfattet beregningsside med godt overblik, som kendes fra andre (kommercielle) regneark – og et regneark med frilagte formler og mellemregninger, som uundværligt fylder mere.

Størrelse, form og placering af testboxen kan ændres ved at placere cursor i nederst højre hjørne som angivet på nedenstående figur 52. Testboxen kan lukkes ved at højreklikke på den, men den vil fremkomme næste gang dimensioneringsvalg foretages.

Testboxen indeholder de vigtigste resultater, som afbilledes i to kolonner. Kolonnerne repræsenterer henholdsvis det valsede og opsvejt profil, hvorved man hele tiden kan foretage en vurdering af hvilket profil, som er mest fordelagtigt at benytte. Er et krav ikke overholdt markeres dette i testboxen ved at en celle skifter til farven **rød** som advarsel. En efterfølgende korrektion af profilets dimensioner, som medfører overholdelse af bæreevnekrav – vil få farven til at skifte tilbage til **hvid**. For betonbjælke viser testboxen dog kun en kolonne.



Figur 52: Illustration af at Testbox kan flyttes og varieres i størrelse og form.

10.1.4 Fane "IFC"

Som første fane i begge programmer er placeret fane for IFC-data.

I øvre højre hjørne er placeret 4 makroknapper (markeret med rød ramme i figur 53). Orange knap "Vælg fil" angiver gennem Stifinder adgang til at vælge en IFC-fil et hvilket som helst sted på computeren. Når IFC-fil er fundet og valgt indlæses den som Input fil (i række 7).

Næste skridt er importering af IFC-data, hvilket gøres med grønne knap, hvorved kolonner startende fra G udfyldes med fundne værdier. Indeholder IFC-filen således data fra 2 bjælker – vil der i næste kolonne I blive indsat værdier. Det er ved macro-funktion fastsat, at maksimal 11 bjælker kan indlæses grundet hensyn til sidelayoutet samt at det ikke har været relevant med flere. Et ønske om indlæsning af flere bjælker ville kunne løses ved åbning af nye kolonner under række 34.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	
2	DTU		SAG: Eksamensprojekt DTU-BYG																								DATO: 2011 - 07 - 02							
3	DTU		EMNE: Stålbjælke med MVN-kræfter																								INIT: TMH / DTU							
4	DTU																										SIDE: 00 AF: 15							
6	IFC datafil																																	
7	Input fil		C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\Tekla IFC filer\2stål.ifc																								Vælg Fil	Importer						
8	Output fil		testtest																								Eksporter	Ryd						
10	Input	Beam																									IFC name							
11	Nr.	1	2																															
12	GUID:	004LJ4pC	04KJ4pC																									lfcBeam						
13	Tag:	TS_396	TS_383																									lfcBeam						
14	Bygning	Thomas	Thomas																									lfcBuilding						
15	Etage	200th flo	100th flo																									lfcBuildingStorey						
16	Lastundersøgelse:																																	
17	Profil	IPE600	HEA500																															
18	Højde:	600	490																									Tekla_Quantities						
19	Bredde:	220	300																									Tekla_Quantities						
20	Kropstykkelse:	12	12																									lfcShapeProfileDef						
21	Flangetykkelse:	19	23																									lfcShapeProfileDef						
22	Runding:	24	27																									lfcShapeProfileDef						
23	Kropshøjde																																	
24	Vægt pr. meter:																																	
25	Tværsnitsareal:																																	
26	Stålttype:	S355JR	S235JR																									Tekla_General						
27	Linielast:																																	
28	Punktlast:																																	
29	Material	STEEL	STEEL																									lfcRelAssociatesMate						
30	Excel beregning:	Klik	Klik																															

Figur 53: IFC-fane med importeret data.

I kolonne B er indtastet tekst for IFC-data, som kunne være interessant at finde.

I kolonne AC-AG indlæses de tilhørende IFC-navne, hvor værdier er fundet.

For overførsel af relevant data i beregningsammenhæng til beregningsfaner – skal der trykkes på "klik" under hver kolonne. Herved sikres kontrol med hvilke bjælker, der beregnes.

Ved at trykke på røde knap "Eksporter" – føres eventuelt ændrede værdier tilbage til den åbnede IFC-fil, som kan gemmes under nyt navn i "Output fil".

Programmet kan åbne flere IFC-filer og bjælke data vil befolke tomme kolonner.

Hvis der ønskes at slette data-input kan der trykkes på lilla knap "Ryd".

10.1.5 Fane "Statik"

Om muligt indlæses IFC-værdier i "Emne for beregning" i celler markeret med blå og rød ramme i figur 54. Hvis ikke – så kan der vælges fra dropdown-menuer. I det "grå" skærmområde er indtastet værdier til valg i de gule celler. Værdier i det grå område er om muligt hentet fra Eurocodes.

DTU		SAG: Eksamensprojekt DTU-BYG		Bjælkenr. B4_00		DATO: 2011-07-21																																																																																												
EMNE: Stålbjælke med M/V/N-kræfter		LK 2.B		INIT: TMH / DTU		SIDE: 01 AF: 15																																																																																												
Emne for beregning				Klassificering																																																																																														
Bjælkenr.	B.04	Konsekvensklasse	CC1	$\gamma_0 =$	1,00																																																																																													
Lastkombination (Brudgrænsetilstand)	2. B	Sikkerhedsklasse	RC2	$\gamma_4 =$	1,00																																																																																													
Lastundersøgelse	ULS	Materiale kontrolklasse	Skærpet	$\gamma_5 =$	0,95																																																																																													
Bygningskategori	H	Materialegruppe	I - III	$\gamma_m =$	0,94																																																																																													
Lastkombination 2.B																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Fladelaster til betonbjælke</th> <th>Faktor ψ</th> <th>Koeff. γ</th> <th>Lastbredde [m]</th> <th>[kN/m²]</th> <th>Formfaktor</th> <th>Linielast</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tagdæk</td> <td></td> <td>1,0</td> <td>(4,00 + 5,00)</td> <td>0,75</td> <td></td> <td>6,8 kN/m</td> </tr> <tr> <td>Tagopbygning</td> <td></td> <td>1,0</td> <td>(4,00 + 5,00)</td> <td>0,25</td> <td></td> <td>2,3 kN/m</td> </tr> <tr> <td>Nedhængt installation</td> <td></td> <td>1,0</td> <td>(4,00 + 5,00)</td> <td>0,25</td> <td></td> <td>2,3 kN/m</td> </tr> <tr> <td>Aggregater på tag</td> <td></td> <td>1,0</td> <td>(4,00 + 5,00)</td> <td>0,20</td> <td></td> <td>1,8 kN/m</td> </tr> <tr> <td>Nyttelast på tag</td> <td></td> <td>1,0</td> <td>(4,00 + 5,00)</td> <td>0,90</td> <td></td> <td>8,1 kN/m</td> </tr> <tr> <td>Vindlast (indvendig)</td> <td></td> <td>1,0</td> <td>(4,00 + 5,00)</td> <td>0,88</td> <td>0,20</td> <td>1,6 kN/m</td> </tr> <tr> <td>Vindlast (udvendig)</td> <td></td> <td>1,0</td> <td>(4,00 + 5,00)</td> <td>0,88</td> <td>0,90</td> <td>7,1 kN/m</td> </tr> <tr> <td>Snelast</td> <td></td> <td>1,5</td> <td>(4,00 + 5,00)</td> <td>0,72</td> <td></td> <td>9,7 kN/m</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>0,9</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>kN/m</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1,0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>kN/m</td> </tr> <tr> <td>I alt</td> <td></td> <td>1,2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>39,6 kN/m</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>1,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>								Fladelaster til betonbjælke	Faktor ψ	Koeff. γ	Lastbredde [m]	[kN/m ²]	Formfaktor	Linielast	Tagdæk		1,0	(4,00 + 5,00)	0,75		6,8 kN/m	Tagopbygning		1,0	(4,00 + 5,00)	0,25		2,3 kN/m	Nedhængt installation		1,0	(4,00 + 5,00)	0,25		2,3 kN/m	Aggregater på tag		1,0	(4,00 + 5,00)	0,20		1,8 kN/m	Nyttelast på tag		1,0	(4,00 + 5,00)	0,90		8,1 kN/m	Vindlast (indvendig)		1,0	(4,00 + 5,00)	0,88	0,20	1,6 kN/m	Vindlast (udvendig)		1,0	(4,00 + 5,00)	0,88	0,90	7,1 kN/m	Snelast		1,5	(4,00 + 5,00)	0,72		9,7 kN/m			0,9				kN/m			1,0				kN/m	I alt		1,2				39,6 kN/m			1,5				
Fladelaster til betonbjælke	Faktor ψ	Koeff. γ	Lastbredde [m]	[kN/m ²]	Formfaktor	Linielast																																																																																												
Tagdæk		1,0	(4,00 + 5,00)	0,75		6,8 kN/m																																																																																												
Tagopbygning		1,0	(4,00 + 5,00)	0,25		2,3 kN/m																																																																																												
Nedhængt installation		1,0	(4,00 + 5,00)	0,25		2,3 kN/m																																																																																												
Aggregater på tag		1,0	(4,00 + 5,00)	0,20		1,8 kN/m																																																																																												
Nyttelast på tag		1,0	(4,00 + 5,00)	0,90		8,1 kN/m																																																																																												
Vindlast (indvendig)		1,0	(4,00 + 5,00)	0,88	0,20	1,6 kN/m																																																																																												
Vindlast (udvendig)		1,0	(4,00 + 5,00)	0,88	0,90	7,1 kN/m																																																																																												
Snelast		1,5	(4,00 + 5,00)	0,72		9,7 kN/m																																																																																												
		0,9				kN/m																																																																																												
		1,0				kN/m																																																																																												
I alt		1,2				39,6 kN/m																																																																																												
		1,5																																																																																																
Bjælkeedata:				Resultat af statisk model:																																																																																														
Spændvidde	L	8,0 m	Reaktion	R_A	206,5 kN																																																																																													
Punktlast	Q_1		Reaktion	R_B	231,5 kN																																																																																													
Afstand fra understøtning A	L_A		Forskydning	IV_{max}^I	231,5 kN																																																																																													
Punktlast	Q_2	100,0 kN	Moment - positiv	M_{max}^+	504,6 kNm																																																																																													
Afstand fra understøtning A	L_B	5,0 m	Moment - negativ	M^+	0,0 kNm																																																																																													
Indspændingsmoment	M_A		Deformation LK 2.B	U_{max}	41 mm																																																																																													
Indspændingsmoment	M_B			$U_{1/3}$	35 mm																																																																																													
Bjælke - egenvægt	g_d	2,7 kN/m	Længde/nedbøjning	LU_{max}	$L / 195$																																																																																													
Linielaster til bjælke	Q_d	39,6 kN/m	Vinkeldrejning	α_A	0,016 rad																																																																																													
Total - linielast	Q_{sd}	42,3 kN/m		α_B	-0,017 rad																																																																																													
Normalkraft - regningsmæssig tryk	N_{sd}	50 kN	Inertimoment	I_y	$3,7E+08 \text{ mm}^4$																																																																																													

Figur 54: Screenshot fra fane "Statik".

Lastkombination

Lastkombination (LK) vælges i celle N9/O9 og sammen med definering af bygningskategori i celle N10 – vil der automatisk blive givet forslag til mulige fladelaster til bjælken. I kolonne K kan vælges reduktions/samtidigheds-faktor, der som udgangspunkt står tom. I kolonne N gives automatisk forslag til partialkoefficienter, men som dog også kan tilpasses individuelt. I kolonne W gives forslag til fladevægt baseret på Eurocode eller erfaring. I kolonne Z vil der være mulighed for valg af formfaktor for vindlast, men kun hvis vindlast er medtaget i lastopbygningen i kolonne C. I celle AO25 summeres alle laster og omdannes til en samlet linielast.

Lastopland

Som udgangspunkt er der lavet makroer som regner med et kvadratisk lastopland i forhold til bjælkens længde, da dette giver en god materialeudnyttelse. Er laster til bjælke asymmetriske – kan dette indtastes som individuelle lastbredder på henholdsvis venstre og højre side af bjælke.

Bjælkeedata

Under overskriften i række 29 - overføres bjælkelængde til celle N29 og om muligt også diverse punktlaster og endemomenter fra IFC-filen. Det er muligt at ekskludere bjælkeegenvægt eller "overrule" de fundne laster – ved i celle N37 at foretage eget valg. Som en sikkerhed kan man dog altid vende tilbage til den automatiske beregnede værdi, da den er indlejret i et rullegardin i samme celle.



10.1.6 Fane "Kalkulation"

For at skabe et selvstændigt fungerende beregningsprogram er der udviklet et statik-program. Ved anvendelse af superpositionsmetoden adderes kræfter udledt af kraftmetoden. For at kunne behandle forskellige bjælkelængder bliver en vilkårlig længde opdelt i 100-dele. Den benyttede formel kan ses anvendt i celle F3, hvor indholdet kan aflæses øverst i "formelbaren" i figur 55.

Figur 55: Kalkulations-fane.

Programmet er simpelt og medtager kun førsteordens-effekter, men ved at påføre laster eller endemomenter - vil programmet kunne dække størstedelen af statiske modeller. En vigtig fordel ved statikprogrammet er gennemsigtigheden samt muligheden for manipulation og specifik brug af datasæt.

Programmet benytter Excel's ABS-funktion til løsning af numeriske problemer omkring adskillelse af positive og negative værdier.

10.1.7 Fane "Resultatskema"

Et klassisk regnearksproblem består ved, at resultater skal gemmes for hvert beregnet konstruktionselement, hvilket kan medføre et uoverskueligt antal regneark og fejl i forbindelse med navngivning af filer. Hvis man ønskes at sammenholde 2 eller flere løsningsforslag for samme bygningsselement vil disse enten være overskrevet eller skulle gemmes i regneark under andre/nye navne.

Til løsning af dette problem er skrevet en macro, så resultatværdier kan huskes ved at overføre disse til et resultatskema, se figur 56. Herfra kan man så studere og vælge blandt de forskellige løsningsforslag man er kommet frem til for det betragtede bjælkeelement. Alternativt navngives bjælkerne forskelligt fra "Statik-fane" eller via IFC; og således kan man i et og samme regneark opbevare dokumentation for bjælkeberegninger på for eksempel en hel etage. Der er dog i denne "Demo-version" kun afsat plads til 11 bjælkeberegninger grundet den grafiske sideopsætning.

DTU		SAG: Eksamensprojekt DTU-BYG		*****	
EMNE: Stålbjælke med M/V-N-kræfter				INIT: TMH / DTU	
				SIDE: 14 AF: 15	
Resultatskema					
Emne for beregning					
Bjælkenr.		B.04	B.04		
Lastkombination		2. B	2. B		
Lastundersøgelse		ULS	ULS		
Bygningskategori		H	H		
Klassificering					
Konsekvensklasse	γ_0	=	CC1	CC1	
Sikkerhedsklasse	γ_1	=	RC2	RC2	
Kontrolklasse	γ_s	=	Skærpet	Skærpet	
Materialegruppe		=	I-III	I-III	
Geometri					
Bjælketværsnit		=	HEM 650	HI	
Tværsnitklasse		=	Klasse1	Klasse1	
Bojningsplan		=	2-2	9-9	
Bjælkelængde	L_f	=	8.000	8.000	
Bjælkehøjde	h	=	668	460	mm
Bjælkebredde	b_w	=	305	120	mm
Kropstykkelse	t_w	=	21,0	12,0	mm
Flangetykkelse	t_f	=	40,0	20,0	mm
Vægt pr. meter	g	=	293,0	77,2	kg/m
Stålparametre					
Ståltpe		=	S235	S235	
Flydespænding - regnings	f_{yd}	=	239	239	MPa
Foldningskoefficient	k_T	=	23,9	23,9	
Slankhedsforhold	λ	=	0,14	0,18	
Last og reaktioner					
Total last	g_i	=	38,06	38,06	kNm
Reaktioner	R_{AL}	=	152,2	152,2	kN
	R_{BL}	=	152,2	152,2	kN
Bæreevneeftersvisning					
Snitkraftsberegning			Plastisk	Elastisk	
Forskydningskraft	V_{sd}	=	152,2	152,2	kN
Bæreevne	V_R	=	3370,2	686,8	kN
Udnyttelsesgrad		=	0,05	0,22	
Moment	M_{max}	=	304,5	304,5	kNm
Bæreevne	M_{ed}	=	445,1	318,9	kNm
Udnyttelsesgrad		=	0,68	0,22	
Normalkraft	N_{sd}	=	50,0	50,0	kN
Bæreevne	$N_{c,R}$	=	8947,4	2354,1	kN
Udnyttelsesgrad		=	0,01	0,02	
Kombineret N + M		=	1	1	
Udnyttelsesgrad		=	0,56	0,98	
Kombineret N + V + M		=	1,00	0,95	
Udnyttelsesgrad	m_{pl}	=	0,68	0,95	
Nedbojning					
Nedbojning	Δu_x	=	19	10	mm
Kriterium		=	1/250	1/250	mm/mm
Nedbojning/bjælkelængde	U_L	=	1/413	1/782	mm/mm
Bjælkepris		=	35160		Dkr.

Figur 56: Resultat-fane.

I resultatskemaet bliver ikke-overholdte bæreevnekrav markeret med rød baggrund – så det tydeligt springer i øjnene. Der bliver også gjort opmærksomt på dårlig udnyttelsesgrad (< 80%) ved at tal skifter til blå farve.



SAG: Eksamensprojekt ved DTU-BYG	DATO: 2011-08-15
EMNE: Udvikling af IFC-kompatibelt dimensioneringsprogram	INIT: TH /
	SIDE: 83 AF: 119

10.1.8 Fane "Henvisning"

Begge beregningsprogrammer afsluttes med en fane for henvisning til de anvendte beregningsmetoder i Eurocodes for dokumentation (se figur 57).

Standarder	Eurocode	
Eurocode 0	Projekteringsgrundlag for bærende konstruktioner	DS/EN 1990
Eurocode 1	Last, Del 1-1, Generelle laster	DS/EN 1991-1-1
Eurocode 2	Stålkonstruktioner, Del 1-1, Generelle regler	DS/EN 1993-1-1

Symbol	Enhed	Forklaring	Formel / bemærkning	Eurocode
		Lastundersøgelse		DS/EN 1990, 6.4
		Lastkombinationer		DS/EN 1990, Anneks A1
		Bygningskategori		DS/EN 1990, Tabel 6.1 - 6.10
		Klassificering		
g _k		Konsekvensklasse	CC1(lav) ⇒ γ _f = 0,9; CC2(normal) ⇒ γ _f = 0,9; CC3(høj)	DS/EN 1993-1-1, 2.2
g _r		Sikkerhedsklasse		DS/EN 1990, National Anneks
g _s		Kontrolklasse		DS/EN 1990, National Anneks
		Materialegruppe		DS/EN 10204
		Svejesøm		DS/EN 5817
		Geometri		
		Bjælkegeometri		DS/EN 1993-1-1, figur 1.1
		Tværsnitklasse		DS/EN 1993-1-1, 5.5
		Bøjningsplan		DS/EN 1993-1-1, figur 1.1
g	kg/m	Vægt pr. meter	Rumvægt af stål sat til 7850kg/kbm	DS/EN 1991-1-1, Anneks A
		StåLPARAMETRE		
		Ståltype		DS/EN 10025
f _{td}	MPa	Flydespænding - regnings.		DS/EN 10025
k _τ		Foldningskoefficient		
λ		Slankhedsforhold		
		Last og reaktioner		
G		Egenvægt	Permanent last - bunden	DS/EN 1991-1-1, 2.1
		Lette vægge	Permanent last - fri	
q _N		Nyttelast	Variabel - fri	DS/EN 1991-1-1, 2.2
		Nyttelast	Lastværdier i henhold til:	DS/EN 1991-1-1, 6.3
A		Ulykkelast		
g _i	kN/m	Total last	Sum af permanente og variable laster	
R _{ed}	kN	Reaktioner		
		Bæreevneeftersøgning		
		Snitkraftsberegning		DS/EN 1993-1-1, 6.2
V _{sd}	kN	Forskydningskraft		
V _{rd}	kN	Bæreevne		DS/EN 1993-1-1, 6.2.7
η _v		Udnyttelsesgrad		
M _{sd}	kNm	Bøjningsmoment		
M _{rd}	kNm	Bæreevne		DS/EN 1993-1-1, 6.2.6
η _h		Udnyttelsesgrad		
N _{sd}	kN	Normalkraft		
N _{rd}	kN	Bæreevne		DS/EN 1993-1-1, 6.2.4
η _h		Udnyttelsesgrad		
		Kombineret N + M		DS/EN 1993-1-1, 6.2.9
		Udnyttelsesgrad		
		Kombineret N + V + M		DS/EN 1993-1-1, 6.2.10
m _μ		Udnyttelsesgrad		
		Nedbøjning		
Δu _s	mm	Nedbøjning		DS/EN 1993-1-1, National Anneks
	mm/mm	Kriterium		DS/EN 1993-1-1, 7.2.1
U _L	mm/mm	Nedbøjning/bjælkelængde		DS/EN 1993-1-1, 7.2.1
	Dkr.	Bjælkepris	Kilopris for konstruktionsstål sat til 15Dkr/kg	

Figur 57: Henvisnings-fane.

10.1.9 Beregninger og Eurocodes

Til beregningsprogrammer anvendes den fælles europæiske standard Eurocode.

Af hensyn til begrænset tid til eksamensprojektet er der foretaget følgende afgrænsning af beregningsomfang:

Beton

Plastisk beregning

Tværsnit som rektangulært, L-tværsnit og T-tværsnit

Insitu eller præfabrikeret bjælke

Armering i maksimalt 2 lag.

Bøjningsmoment og forskydningskræfter

Afkortning af hovedarmering

Bøjlearmering med maksimalt 3 delstrækninger

Stålbjælke

Plastisk og elastisk beregning

Valset, opsvejt og kastelleret stålprofil

Bøjningsmoment, forskydningskræfter og normalkræfter

Følgende kunne være tilføjet til beregninger, men udeladt:

Beton

Elastisk beregning

Normalkræfter

Stabilitetsundersøgelse

Brand

Stålbjælke

Stabilitetsundersøgelse for opsvejt profil

Brand

Bemærkninger til udeladte beregninger:

Når betingelserne for en plastisk beregning er overholdt – er der ingen grund at regne elastisk, da den plastiske beregningsmetode som håndregel giver ca. 20-25% større bæreevne.

Stabilitetsundersøgelse vil kræve, at der bliver aflæst og overført nogle stabilitetskurver til regnearkene, hvilket er en tidskrævende opgave.

For valsedede stålprofil er stabilitetsundersøgelse ikke nødvendig, da de netop er geometrisk udformet så der ikke er fare for stabilitetssvigt.

Fravalgt af brandberegning skyldes flere ting. For det første usikkerhed omkring beregningsmodellerne i Eurocode 1992/2, som i henhold til professor Kristian Hertz på DTU visse steder er fejlagtige. For det andet at en brandbelastning skal kendes, hvilket ikke er muligt at fastsætte i eksamensprojektet. For stålprofiler er der udarbejdet en fane for brandberegninger, men den er ikke medtaget i projektet. Dette skyldes igen manglende kendskab til brandbelastning, men også at data fra leverandører af brandbeskyttende materialer ikke var indtastet.

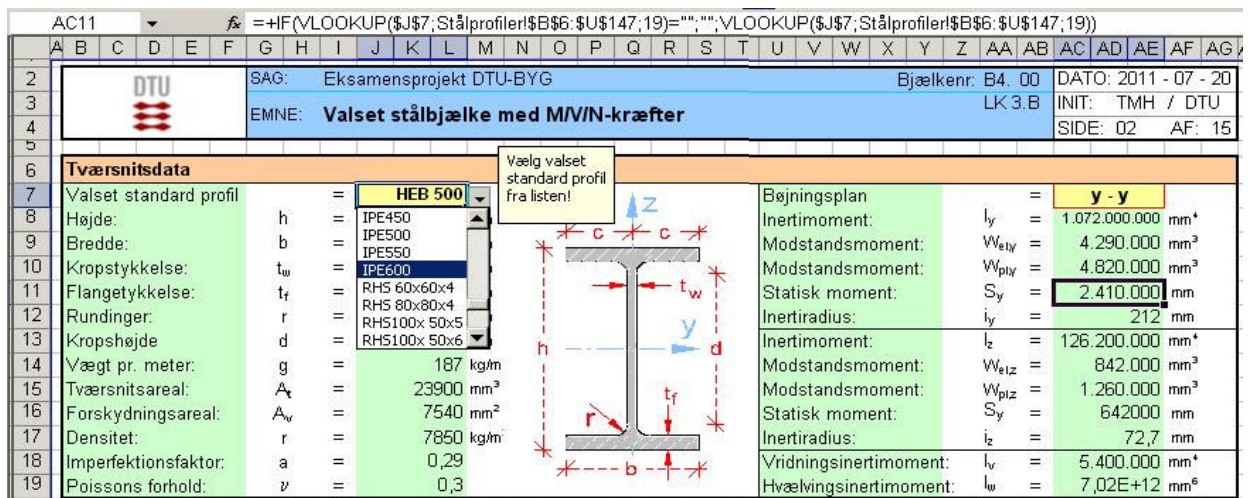
10.2 Beregningsprogram for stålprofiler

10.2.1 Data fane - Indlæsning af IFC-data

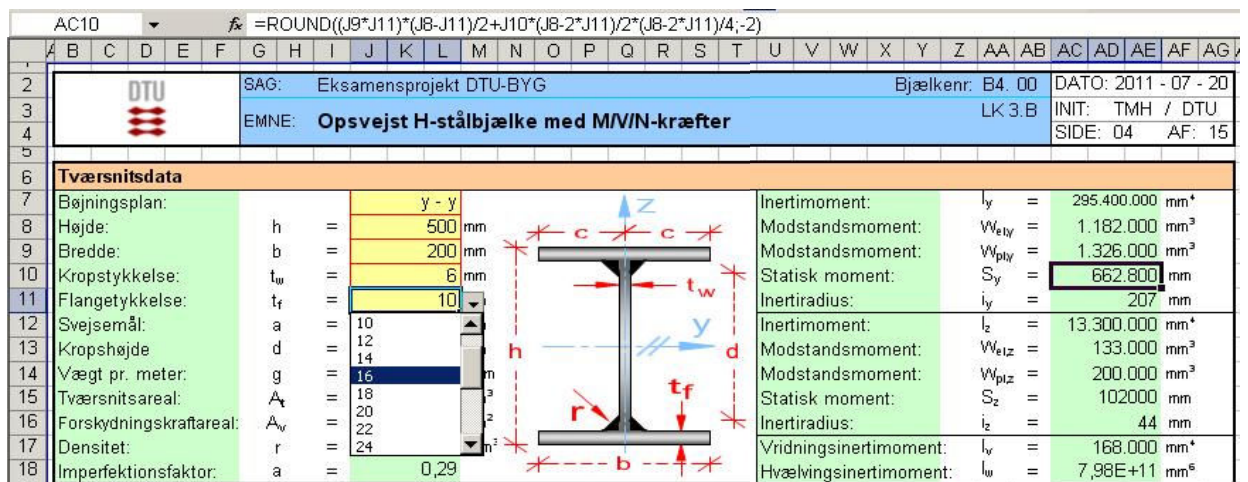
VBA-kode er lavet således, at der skelnes mellem valsete profiler med de 3 standard bogstaver HEA, HEB, IPE, UNP, INP og RHS forrest – og et opsvejt profil, som i Tekla angives ved de 2 bogstaver "HI".

Ved overførsel fra IFC indsættes valset profil i celle J7 (figur 58). Det er herefter muligt at kontrollere om profilet har tilstrækkelig bæreevne. Hvis ikke – kan der fra dropdown-menu foretages et valg af større profil eller prøves med en anden profiltipe.

Ved hjælp af VLOOKUP-funktionen i Excel hentes de mange tværsnitsdata ind i kolonne J og AC fra fane "Profiler". Formlen kan ses allerøverst i formelbaren på figur 58.



Figur 58: Tværsnitsdata for et valset stålprofil.



Figur 59: Tværsnitsdata for et opsvejt stålprofil.

Hvis programmet detekterer et opsvejt profil fra IFC – så indsættes højde, bredde, kropstykkelse og flangetykkelse i celle J/8-11 i figur 59. Også her er det muligt at foretage ændringer for IFC-export. Da programmet automatisk udregner alle andre tværsnitsdata – er det af samme grund ikke prioriteret som "meget vigtigt" at få overført diverse momentkapaciteter mv. Formler kan aflæses ved at markere for eksempel celle AC10 og kigge i formelbaren (øverst i figur 59). Ved at benytte "ROUND"-funktion bliver der foretaget forskellige afrundinger af værdierne i kolonne AC, hvilket gør aflæsning lettere.

10.2.2 Data fane - Automatisk beregning af opsvejest stålprofil

Programmet kan ofte selv give et forslag til et opsvejest profil ud fra den påførte momentbelastning.

Ud fra professor Niels Jørgen Gimsing klassiske lærebog "Pladedragere" er der ud af teorien udledt følgende formler, som anvendes:

1) Der gættes eller fastsættes en kroptykkelse

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

2) Der laves overslag på bjælkehøjde ved:

$$h = 0,8 * \sqrt{(3 * M_{\max}) / (t_w * f_{yd})}$$

3) Så gættes eller fastsættes en flangetykkelse:

$$t_f = 20 \text{ mm}$$

4) Så kan kropsareal udregnes:

$$A_w = t_w * (h - 2 * t_f)$$

5) Så følger et overslag på flangeareal:

$$A_f = (M_{\max} / (h * f_{yd})) - A_w / 4$$

6) Endelige kan bjælkebredde udregnes:

$$b = A_f / t_f$$

Til sidst er der foretaget diverse korrektioner ved hjælp af Excel-funktioner. Beregninger er altså delvis betingede af et rimeligt gæt på krops- og flangetykkelse, men det geniale ved formlerne er, at hvis disse gæt ikke er helt optimale – så tilretter tværsnittets andre dimensioner sig derefter. De valgte gæt er baseret på en vurdering og manuel beregning af dimensioner ved en "middel" last og "middel" bjælkelængde. Således giver overslaget ofte et godt udgangspunkt for videre optimering af alle tværsnitsparametre. Funktionen kan afprøves ved i fane "Statik" at ændre for eksempel bjælkelængden. Nedenstående figur 60 af en helt vilkårlig beregning viser den forbløffende nøjagtighed. Figuren illustrerer også mulighederne for valg mellem et valset og et opsvejest profil, da begge profiler overholder bæreevnekrav, men med meget forskellige dimensioner. Med det opsvejste profil er der sparet ca. 25% stål ved en udnyttelsesgrad på 93%.

Testbox			
Geometri			
Bøjningsplan	=	y - y	y - y
Bjælketværsnit	=	HEB 500	H
Tværsnitsklasse	=	Klasse 1	Klasse 1
Bjælkehøjde	: h	=	500 800 mm
Bjælkebredde	: b _w	=	300 220 mm
Kropstykkelse	: t _w	=	15,0 12,0 mm
Flangetykkelse	: t _f	=	29,0 20,0 mm
Vægt pr. meter	: g	=	199,0 146,3 kg/m
Ståiparametre			
Ståtype	=	S235	S235
Flydespænding	: f _{yd}	=	225 225
Foldningskoefficient	: k _t	=	0,0 23,9
Stankhedsforhold	: λ	=	0,16 0,38
Bæreevneeftersvning			
Snitkraftsberegning		Plastisk	Bastisk
Forskydningskraft	: V _{sd}	=	512 512 kN
Bæreevne	: V _R	=	1115 1272 kN
Udnyttelsesgrad	=		0,46 0,40
Moment	: M _{max}	=	1025 1025 kNm
Bæreevne	: M _{ud}	=	1260 1101 kNm
Udnyttelsesgrad	=		0,81 0,93
Normalkraft	: N _{sd}	=	50 50 kN
Bæreevne	: N _{c,R}	=	5715 4194 kN
Udnyttelsesgrad	=		0,01 0,01
Kombineret N+M	=		1 1
Udnyttelsesgrad	=		0,69 0,94
Kombineret N+V+M	=		1,00 0,99
Udnyttelsesgrad	: m _{pl}	=	0,81 0,93
Nedbøjning			
Nedbøjning/Længde	: U _L	=	1/2699 1/4294

Figur 60: Automatisk beregning af opsvejest profil

10.2.4 Data fane - Dimensionering

Programmet juster tværskonstanterne efter den valgte beregningsmetode og det betragtede bøjningsplan (y-y eller z-z). Udnyttelsesgrader for normalkræfter, forskydningskræfter, momentkræfter og kombinationer heraf - holdes op mod belastningerne for den betragtede lastkombination, hvilket ses i række 48, 56, 64, 72 og 89 i figur 62.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
41																																	
42	Forskydningskraft																																
43	Bæreevne:	$V_R = A_v \cdot f_{vd} / \sqrt{3}$																															
44		$= 7977 \cdot 225 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$																															
45																																	
46	Udnyttelsesgrad:	$v = V_{sd} / V_R \leq 1$																															
47		$= 510 / 1036 = 0,49$																															
48	Resultat:	$V_R = 1036 \text{ kN}$	$V_{sd} = 510 \text{ kN}$																														
49																																	
50	Moment																																
51	Bæreevne:	$M_{c,R} = W_{ply} \cdot f_{yd}$																															
52		$= 5360000 \cdot 225 \cdot 10^{-6}$																															
53																																	
54	Udnyttelsesgrad:	$m_{pl} = M_{sd} / M_{c,R} \leq 1$																															
55		$= 1019 / 1206 = 0,85$																															
56	Resultat:	$M_{c,R} = 1206 \text{ kNm}$	$M_{sd} = 1019 \text{ kNm}$																														
57																																	
58	Normalkraft																																
59	Bæreevne:	$N_{c,R} = A_t \cdot f_{yd}$																															
60		$= 22600 \cdot 225 \cdot 10^{-3}$																															
61																																	
62	Udnyttelsesgrad:	$n_{pl} = N_{sd} / N_{c,R} \leq 1$																															
63		$= 50 / 5085 = 0,01$																															
64	Resultat:	$N_{c,R} = 5085 \text{ kN}$	$N_{sd} = 50 \text{ kN}$																														
65																																	
66	Kombineret N- og M-kræfter																																
67	Kroppens relative arealandel af tværnsnit	$a = (t_w \cdot h) / A$																															
68		$= (13,0 \cdot 590) / 22600 = 0,34$																															
69																																	
70		$1 \geq n_{pl} + m_{pl} (1 - 0,5 - a)$																															
71		$\geq 0,01 + 0,85 (1 - 0,5 - 0,34) = 0,71$																															
72	Resultat:	1	$0,71$																														
73																																	
74	Kombineret M-, V- og N-kræfter																																
75	Momentbæreevne i flanger:	$M_{e,R} = A_f \cdot h \cdot f_{yd} \cdot 10^{-6}$																															
76		$= 7500 \cdot 590 \cdot 225 \cdot 10^{-6}$																															
77																																	
78	Moment i bjælkekrop:	$M_k = M_{e,R} - M_{c,R}$																															
79		$= 995,6 - 1206,0$																															
80																																	
81	Momentandel i bjælkekrop:	$\alpha = M_k / M_{c,R}$																															
82		$= 210,4 / 1206,0$																															
83																																	
84	Reduceret momentbæreevne:	$p = (2v - 1)^2$																															
85		$= (0,98 - 1)^2$																															
86																																	
87		$m_{pl} \leq 1 - (p - \alpha)$																															
88		$\leq 1 - (0,00 - 0,17)$																															
89	Resultat:	$m_{pl} = 0,85$	$1,00$																														
90																																	

Testbox			
Geometri			
Bjælketværsnit	=	HEA 600	Hi
Tværsnitklasse	=	Klasse 1	Klasse 1
Bjælkehøjde	: h	=	590 mm
Bjælkebredde	: b _w	=	300 mm
Kropstykkelse	: t _w	=	13,0 mm
Flangetykkelse	: t _r	=	25,0 mm
Vægt pr. meter	: g	=	178,0 kg/m
StåLPARAMETRE			
Ståtype	=	S235	S235
Flydespænding	: f _{yd}	=	225
Foldningskoefficient	: k _f	=	0,0
Slankhedsforhold	: λ	=	0,20
Bæreevneeftersøgning			
Snitkraftsberegning		Plastisk	Plastisk
Forskydningskraft	: V _{sd}	=	510 kN
Bæreevne	: V _R	=	1036 kN
Udnyttelsesgrad		=	0,49
Moment	: M _{sd}	=	1019 kNm
Bæreevne	: M _{ud}	=	1206 kNm
Udnyttelsesgrad		=	0,85
Normalkraft	: N _{sd}	=	50 kN
Bæreevne	: N _{c,R}	=	5085 kN
Udnyttelsesgrad		=	0,01
Kombineret N+M		=	1
Udnyttelsesgrad		=	0,71
Kombineret N+V+M		=	1,00
Udnyttelsesgrad		=	0,85
Nedbøjning			
Nedbøjning/Længde	: U _L	=	1/2825
		=	1/2868
		=	1,00

Figur 62: Dimensioneringsafsnit – hvorfra resultater også kan aflæses i testboxen.



SAG: Eksamensprojekt ved DTU-BYG	DATO: 2011-08-15
EMNE: Udvikling af IFC-kompatibelt dimensioneringsprogram	INIT: TH /
	SIDE: 89 AF: 119

10.3 Beregningsprogram for betonbjælke

10.3.1 Fane "Data" - Indledning

Hvis programmet detekterer informationer om tværsnittes udformning fra IFC-fil – så vil disse blive indlæst i afsnittet Geometri i nedenstående figur 63.

I øverste afsnit "Emne for beregning" og "Klassificering" er der mulighed for at definere overordnede informationer i de gule celler. Her er flere af dropdown-menerne koblet til bestemmelser i Eurocodes og styrer således forskellige laster, partialkoefficienter og minimumskrav. For eksempel vil bestemmelse af bygningskategori i celle N10 medføre fastsættelse af fladelaster i "Statik"-fane i henhold til Eurocodes. Ved bestemmelse af miljøklasse i celle Y10 styres minimumskrav til betonkvalitet, dæklag og tolerance. Er miljøklasse "Extra aggressiv" – er kravene høje og valgmuligheder for dæklag og tolerance skærpede.

Valg fra de gule celle understøttes ved berøring af en vejledende tekst, som vist i celle N12. I celle AD52 er placeret trykknop, som overfører data til Resultatskemaet.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
2	DTU		SAG: Eksamensprojekt DTU-BYG														Bjælkenr: B9_02		DATO: 2011 - 07 - 21													
3	DTU		EMNE: Betonbjælke med slap armering														LK 1.A		INIT: TMH / DTU													
4	DTU																		SIDE: 01 AF: 17													
5																																
6	Emne for beregning																Klassificering															
7	Bjælkenr: B9_02																Konsekvensklasse: CC2 $\gamma_0 = 1,00$															
8	Lastkombination (Anvendelsesgr.): 1.A																Sikkerhedsklasse: RC2 $\gamma_s = 1,00$															
9	Lastundersøgelse: EQU																Kontrolklasse: Lempet $\gamma_s = 1,10$															
10	Bygningskategori: B																Miljøklasse: Passiv $f_{ck} \geq 12$ N/mm ²															
11	Bjælkekonstruktion: Insitu																Dæklag: 10 mm $c_d = 15$ mm															
12	Bjælketype: Hvis beregning for kontinuert bjælke ønskes - så placér bjælkedelen i et endefag eller mellemfag. Bjælkefag skal være lige store! Ønskes beregning for en simpelt understøttet bjælke på 1 fag - vælg da "simpelt".																Tolerance: +5 mm															
13																	Simpelt															
14	Overlag																Tværsnit															
15	Bjælkehøjde: 0,900 m																															
16	Bjælkebredde: 0,400 m																															
17	Bjælkebredde: 0,225 m																															
18	Geometri																															
19	Bjælketværsnit: T-tværsnit																															
20	Bjælkehøjde: h = 0,800 m																															
21	Bjælkebredde: b_w = 0,300 m																															
22	Flangetykkelse: h_f = 0,120 m																															
23	Lastlinie (fra overside): x_l = 0,100 m																															
24																																
25	Betonparametre																Armeringsparametre															
26	Betontype: C20																Armeringsklasse: Klasse B															
27	Antal modenhedsdøgn: 28 døgn																Armeringstype: B500															
28	Cementtype: CEM42,5N (Klasse N)																Hovedarmering - antal i underside: auto															
29	Stenstørrelse: d_max = 32 mm																Hovedarmering - diameter: $\phi_s = 20$ mm															
30	Trykstyrke, karakteristisk: $f_{ck} = 20$ N/mm ²																Forskydningsarmering - diameter: $\phi_{sw} = 10$ mm															
31	Tryktrykke, middel: $f_{cm}(\sigma) = 28,00$ N/mm ²																Hovedarmering - areal/stk: $A_s = 314,2$ mm ²															
32	Trykstyrke, karakteristisk, døgn: $f_{ck}(\sigma) = 20$ N/mm ²																Forskydningsarmering - areal/stk: $A_{sw} = 157,1$ mm ² /2snit															
33	Partielkoefficient, tryk: $\gamma_c = 1,60$																Flydespænding, karakteristisk: $f_{yk} = 500$ N/mm ²															
34	Trykstyrke, regningsmæssig: $f_{cd} = 12,54$ N/mm ²																Partielkoefficient: $\gamma_f = 1,10$															
35	Træktrykke, middel: $f_{ctm} = 2,83$ N/mm ²																Flydespænding, regningsm.: $f_{sd} = 455$ N/mm ²															
36	Træktrykke, middel, døgn: $f_{ctm}(\sigma) = 2,83$ N/mm ²																Elasticitetsmodul, karakteristisk: $E_{sk} = 200000$ N/mm ²															
37	Træktrykke, karakteristisk, 5% faktil: $f_{ctk}(0,05) = 1,98$ N/mm ²																Elasticitetsmodul, regningsm.: $E_{sd} = 182000$ N/mm ²															
38	Træktrykke, karakteristisk, 95% faktil: $f_{ctk}(0,95) = 3,68$ N/mm ²																Tøjning, styrkeparameter: $\lambda = 0,80$															
39	Partielkoefficient, træk: $\gamma_{cl} = 1,87$																Tøjning, styrkeparameter: $\eta = 1,00$															
40	Træktrykke, regningsmæs., 5% faktil: $f_{ctd}(0,05) = 1,06$ N/mm ²																Tøjning, beton: $\epsilon_{cu3} = 0,35$ %															
41	Træktrykke, regningsmæs., 95% faktil: $f_{ctd}(0,95) = 1,97$ N/mm ²																Tøjning, trykbrud: $\epsilon_{cs} = 0,18$ %															
42	Forankringsstyrke, regning, 5% faktil: $f_{bd}(0,05) = 2,38$ N/mm ²																Tøjning, flydning, regn.mæssig: $\epsilon_{yd} = 0,23$ %															
43	Elasticitetsmodul, begyndelse: $E_{ck} = 30909$ N/mm ²																Minimumsarmering: $\omega_{min} = 0,053$															
44	Elasticitetsmodul, døgn: $E_{cm}(\sigma) = 27941$ N/mm ²																Underarmering: $\omega_{und} = 0,052$															
45	Elasticitetsmodul, sekanthældning: $E_{cm} = 21636$ N/mm ²																Balanceret armering: $\omega_{bal} = 0,485$															
46	Elasticitetsmodul, effektiv: $E_{eff}(\sigma) = 5409$ N/mm ²																Overarmeringsfaktor: $\beta = 0,362$															
47	Partielkoefficient, E-modul: $\gamma_E = 1,10$																Nedbøjningsfaktor, korttidsvirk.: $\alpha_0 = 9,2$															
48	Elasticitetsmodul, regningsm.: $E_{eff}(\sigma) = 4917$ N/mm ²																Nedbøjningsfaktor, langtidsvirk.: $\alpha_{\infty} = 37$															
49	Betonkrybetal: $\phi = 3$																Plastisk effektivitetsfaktor: $\nu_{\nu} = 0,60$															
50																																
51																																
52	Overfør beregning til Resultatskema																= Gem															

Figur 63: Fanen "Data" for betonbjælker

10.3.2 Fane "Data" – Dimensionering af betontværsnit

Der er lavet to startmacroer, som på baggrund af overslag (erfaringstal) i celle N15 - giver et bud på en bjælkehøjde og bjælkebredde.

Ved efterfølgende justeringer af parametre, hvilket kan være miljøklasse, armeringsdiameter eller bjælkehøjde – vil en mere optimal bjælkebredde blive anbefalet.

Regneark sat til maksimalt 4 stænger i nederste lag og i alt maksimalt 8 stænger i max. 2 lag. Hvis antallet af nødvendige armeringsstænger for eksempel er 6 stk. – så vil programmet prøve at placere stængerne i 2 lag (auto). Programmet giver også forslag til en minimumsbredde - hvis man skulle ønske, at alle stænger placeres i (1 lag).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
14	Overslag																
15	Bjælkehøjde	:	h	=	$\sqrt{(800 \cdot M_d / b)}$	=	0,760	m									
16		:	h	≥	$1/25 \cdot L$	=	0,280	m									
17	Bjælkebredde	:	b	≥	$1/4 \cdot h$	=	0,190	m									
18	Geometri																
19	Bjælketværsnit	:													Rektangel		
20	Bjælkehøjde	:	h	=	0,800	m											
21	Bjælkebredde	:	b _w	=	0,350												
22	0,210 (auto)																
23	Lastlinie (fra overside)	:	x _L	=	0,360 (1 lag)												
24	0,150																
25	Betonparametre																
26	Betontype	:													0,250		
27	Antal modenhedsdøgn	:													0,300		
28	Cementtype	:													0,350		
29	Stenstørrelse	:	d _{max}	=	32												
30	Trykstyrke, karakteristisk	:	f _{ck}	=	40												

Figur 64: Valg af tværsnitsgeometri.

10.3.3 Fane "Data" - Dimensionering af armering

Der er lavet en startmacro, som laver et løst overslag på hovedarmeringens diameter ved et forbrug på 100kg/m³. Grundet iterative kalkulationer i VBA-koden - kan et mere præcist valg efterfølgende foretages ved at vælge "auto", som vælger diameter baseret på 6-8 jern i underside. Minimumdiameter på hovedarmering er sat til 12 mm.

	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG		
25	Armeringsparametre																	
26	Armeringsklasse	:													klasse B			
27	Armeringstype	:													B500			
28	Hovedarmering - antal i underside	:													auto			
29	Hovedarmering - diameter	:	ø _s	=	12													
30	Forskydningsarmering - diameter	:	ø _{sw}	=	14 (auto)													
31	Hovedarmering - areal/stk	:	A _s	=	12													
32	Forskydningsarmering - areal/stk	:	A _{sw}	=	14													
33	Flydespænding, karakteristisk	:	f _{vk}	=	16													
34	Partielkoefficient:	:	γ _f	=	18													
35	Flydespænding, regningsm.	:	f _{vd}	=	20													
36	Elasticitetsmodul, karakteristisk	:	E _{sk}	=	25													
37	Elasticitetsmodul, regningsm.	:	E _{sd}	=	455													
																200000	N/mm ²	
																182000	N/mm ²	

Figur 65: Valg af armeringsparametre.

13.3.4 Fane "Dimensionering"

De omtalte muligheder for justering af bjælkebredde i afsnit 10.3.2 findes i "Dim"-fane, hvor der i øverste afsnit i figur 66 kontrolleres eller udregnes den nødvendige bjælkebredde ved armering i 1 eller 2 lag.

Selvom programmet automatisk giver forslag til placering af armeringsstænger - så kan valget "overrules" i celle AD54. Af formelbaren øverst i figur 66 kan aflæses den benyttede formel for automatisk placering af armeringsstænger i bunden af betontværsnittet.

På baggrund af vilkårligt armeringsarrangement er der i række 61 udarbejdet en formel, som beregner den effektive bjælkehøjde. Den effektive bjælkehøjde sammenholdes med det indledningsvise gæt på $(0,9 * h)$.

Såfremt betonbjælken er underarmeret udskiftes værdier for ω med ω_{min} for at sikre en minimumsarmering, hvilket vil fremgå med både text og udskiftning af symbol. Hvis betonbjælke er overarmeret – vil programmet ikke korrigere til et balanceret tværsnit ω_{bal} , da dette vil medføre manglende bæreevne. I stedet vil fremkomme en "NEJ!"-advarsel.

A, J54		fx = HF(FLOOR(AD52;1)>MIN(4;MAX(2;F46));MIN(4;MAX(2;F46));FLOOR(AD52;1))																													
B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
Kontrol af bjælkebredde med 1 eller 2 armeringstag i underside:																															
Anvendes: 6 Y 32																															
$a \geq \begin{cases} \sigma_s & = & 32 & = & 32 \text{ mm} \\ 20 & = & 20 & = & 20 \text{ mm} \\ d_{...} + \Delta t & = & 32 + 5 & = & 37 \text{ mm} \end{cases}$																															
$c_t \geq \begin{cases} c_d + \sigma_s & = & 15 + 8 & = & 23 \text{ mm} \\ \sigma_s + \Delta t & = & 32 + 5 & = & 37 \text{ mm} \end{cases}$																															
$b_{...} = 2 \cdot c_{...} + (n/lag - 1) \cdot a_{...} + (n/lag) \cdot \sigma_s \Rightarrow$																															
i1 lag = 2 · 37 + 5 · 37 + 6 · 32 = 451 mm																															
i2 lag = 2 · 37 + 2 · 37 + 3 · 32 = 244 mm																															
$\Rightarrow b_{...} = 451 \text{ mm i 1 lag} \leq b_w = 320 \text{ mm} \quad \text{NEJ!}$																															
$\Rightarrow b_{...} = 244 \text{ mm 2 lag} \leq b_w = 320 \text{ mm} \quad \text{OK!}$																															
Effektiv bjælkehøjde ved positivt moment:																															
Anvendes: 6 Y 32 OK! < 3 lag																															
Maksimalt antal armeringsstænger i nederste lag:																															
$n_s = \frac{(b_w - 2 \cdot c_{...} + a_{...}) / (a_{...} + \sigma_s)}{(320 - 2 \cdot 37 + 37) / (37 + 32)} = 4,1 \text{ stænger}$																															
Antal armeringsstænger i nederste lag: $\Rightarrow n_s = 4$ stænger																															
Antal armeringsstænger i næstnederste lag: $\Rightarrow n_s = 2$ stænger																															
$b_s \geq \begin{cases} \sigma_s & = & 32 \text{ mm} \\ d_{...} & = & 32 \text{ mm} \end{cases}$																															
$d = h - (n_s \cdot (c_{...} + 1/2\sigma_s) + n_s \cdot (c_{...} + b_{...} + 3/2\sigma_s)) / n$																															
$= 800 - (4 \cdot (37 + 16,0) + 2 \cdot (37 + 32 + 48,0)) / 6 = 726 \text{ mm}$																															
$\Rightarrow d = 726 \text{ mm} \geq d_{(qst)} = 720 \text{ mm} \quad \text{OK!}$																															
Bæreevneundersøgelse for maksimal positivt moment:																															
Anvendes: 6 Y 32 $\Rightarrow A_s = 4825,5 \text{ mm}^2$																															
$\omega_{...} = \frac{(A_s \cdot f_{sd}) / (b_s \cdot d \cdot \eta \cdot f_{td})}{(4825 \cdot 455) / (2200 \cdot 726 \cdot 1,00 \cdot 12,54)} = 0,110 \quad \text{OK!}$																															
$\mu_{...} = \frac{\omega_{...}}{(1 - 0,5 \cdot \omega_{...})} = \frac{0,110}{(1 - 0,5 \cdot 0,110)} = 0,104$																															
$M_{...} = \mu_{...} \cdot b_s \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{td} = 0,104 \cdot 2200 \cdot 726^2 \cdot 1,00 \cdot 12,54 \cdot 10^4 = 1504,5 \text{ kNm}$																															
$\Rightarrow M_{...} = 1504,5 \text{ kNm} \geq M_{...} = 1412,5 \text{ kNm} \quad \text{OK!}$																															

Figur 66: Beregning af bjælkebredde, højde og bæreevne.

10.3.5 Fane "Nedbøjning"

Nedbøjning og revnevidde beregnes efter den undersøgte lastkombination i fanen "Data". Ønskes der vurderet konsekvenser i anvendelsesgrænsetilstanden må vælges LK1.x. En makro giver forslag til nedbøjningskriterium i henhold til anvisninger i Eurocodes for den valgte bygningskategori. Nedbøjning regnes efter elasticitetsteorien, hvor den anden afledede differentialkvotient giver sammenhængen mellem krumning og moment (for mindre nedbøjninger).

Krav til maksimal revnevidde styres som udgangspunkt af den fastsatte miljøklasse, men som det fremgår af kolonne AD i figur 68 kan individuelle krav fastsættes.

Udregning af både nedbøjning og revnevidde er dog at betragte som vejledende, da tværsnittet vil have både revnede og urevnede områder samt potentiel have forskellige armeringsgrader grundet afkorting af længdearmering.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG			
6	Nedbøjning																																			
7																																				
8																																				
9																																				
10																																				
11																																				
12																																				
13																																				
14																																				
15																																				
16																																				
17																																				
18																																				
19																																				
20																																				
21																																				
22																																				
23	Revnevidde																																			
24																																				
25																																				
26																																				
27																																				
28																																				
29																																				
30																																				
31																																				
32																																				
33																																				
34																																				
35																																				
36																																				
37																																				

Figur 68: Bestemmelse af nedbøjning og revnevidde samt tilhørende dropdown-mener.

10.3.6 Fane "Bøjler"

Bøjleberegninger er baseret på forskydningsteorien for armerede bjælker, hvor over- og underarmering fungerer som stringere og hvor bøjler viderefører ophængningskræfter.

Som en finesse udnyttes de trigonometriske funktioner i Excel til at kunne beregne skrå placerede armeringsbøjler i bjælkens længderetning. I celle AD-17 giver macro forslag på 60 grader.

På baggrund af valgt hældning på bøjler udregner programmet selv minimumsafstande. De empiriske formler er baseret på anvisninger i Eurocodes.

For beregning af maksimal bøjleafstand omsættes spændinger fra forskydningsteorien til en maksimum afstand ved maksimal belastning. Den anvendte formel for maksimal bøjleafstand i celle AD54 kan aflæses øverst i figur 69, hvor der også anvendes FLOOR-funktionen for at give en håndterlig bøjleafstand delelig med 10.

AJ55		fx =+FLOOR((((AK55)*2*PI()/2)*(I52*L52*(O52+R52))/(U52*X52);10)																														
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
15	Hældning af bøjler og betontryk:																															
16																																
17	Bøjlernes hældning i forhold til vandret:																								α =		60	grader				
18																																
19	Mulighed for afkortning af længdearmering?																								(JA / NEJ) :		JA					
20																																
21	Interval :	tan (α / 2)		<	cotθ		<	2		Valg :		1,00																				
22																																
23			0,58		<	cotθ		<	2																							
24																																
25	Skrå betontryk.																															
26																																
27	σ _{c,max} =		(1 + cot ² θ) / (cotθ + cot α)		×		τ _{max}		≤		ν _v ×		f _{cd}																			
28			(1 + 1,0 ²) / (1,0 + 0,58)		×		1,96		≤		0,60 ×		12,54																			
29																																
30																																
31	⇒		2,48 MPa		≤		7,52 MPa						OK!																			
32																																
33	Bøjleafstand:																															
34																																
35	s ≤		0,75 ×		d ×		(1 + cot α)																									
36			0,7 ×		1000 ×		(1 + 0,58)						= 1104 mm																			
37																																
38			15,9 ×		A _{sw} ×		f _{yk} / (b _w ×		f _{ck})																							
39			15,9 ×		77,0 ×		500 / (400 ×		4,47)				= 342 mm																			
40																																
41																																
42																																
43	⇒		Valg af bøjleafstand svarende til minimumsarmering τ _{bøjle,min} :										= 300 mm																			
44																																
45																																
46	τ _{sd} =		τ _{max} ×		(x -		L _b) /		x				⇒																			
47			1,96 ×		(4000 -		1421) /		4000				= 1,26 MPa																			
48																																
49																																
50	s ≤		A _{sw} ×		f _{yd} ×		sin α ×		(cotθ + cot α) / (τ _{sd} ×		b _w)		⇒																			
51			≤		77 ×		455 ×		0,87 ×		(1,00 + 0,58) / (1,26 ×		400)																			
52													= 95 mm																			
53																																
54	⇒		Automatisk valg af maksimum bøjleafstand ved maksimal belastning:										= 90 mm																			

Figur 69 Bestemmelse af bøjlehældning og bøjleafstande.

10.3.7 Fane "Armeringskurve"

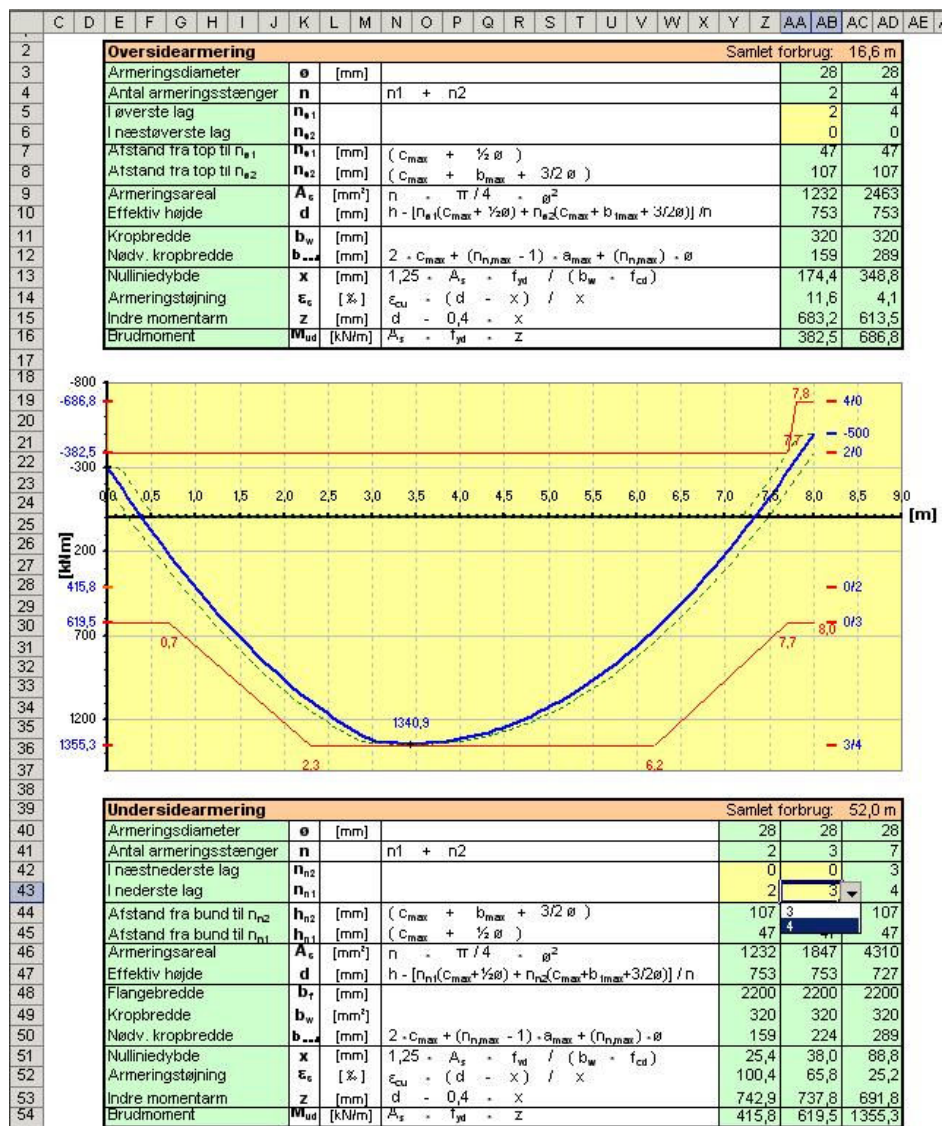
Antal nødvendige stænger i det primære armeringslag er udregnet i fane "Dimensionering" og kan ikke ændres i celle AC/5-6 eller AC/42-43 i figur 70.

Forskellige betingelsessætninger uden for udskriftsområdet sørger for at der kun kan vælges færre armeringsstænger til et sekundært lag end til det primære lag. Programmet er sat til minimum at placere 2 stænger i alle over- og undersidelag, hvorved forskydningstygdepunkt placeres centralt.

Med blå farve vises momentkurve. Den stiplede grønne kurve viser den forskudte momentkurve fremkommet ved sideværts forskydning med $\frac{1}{2}z(\cot\theta - \cot\alpha)$. De røde liniestykker viser længdearmeringen, hvoraf de skrå stykker indikerer forankringslængder.

Grafen understøttes af værdier for momentbæreevne med blå tal langs y-aksen til venstre og det tilhørende antal armeringsstænger markeres med kort strek i højre side.

Ud over vurdering af hensigtsmæssigt armeringsarrangement – er der tilføjet mulighed for at aflæse det samlede forbrug af længdearmering i både over- og underside. Dette kan ses i celle AC2 samt AC39.



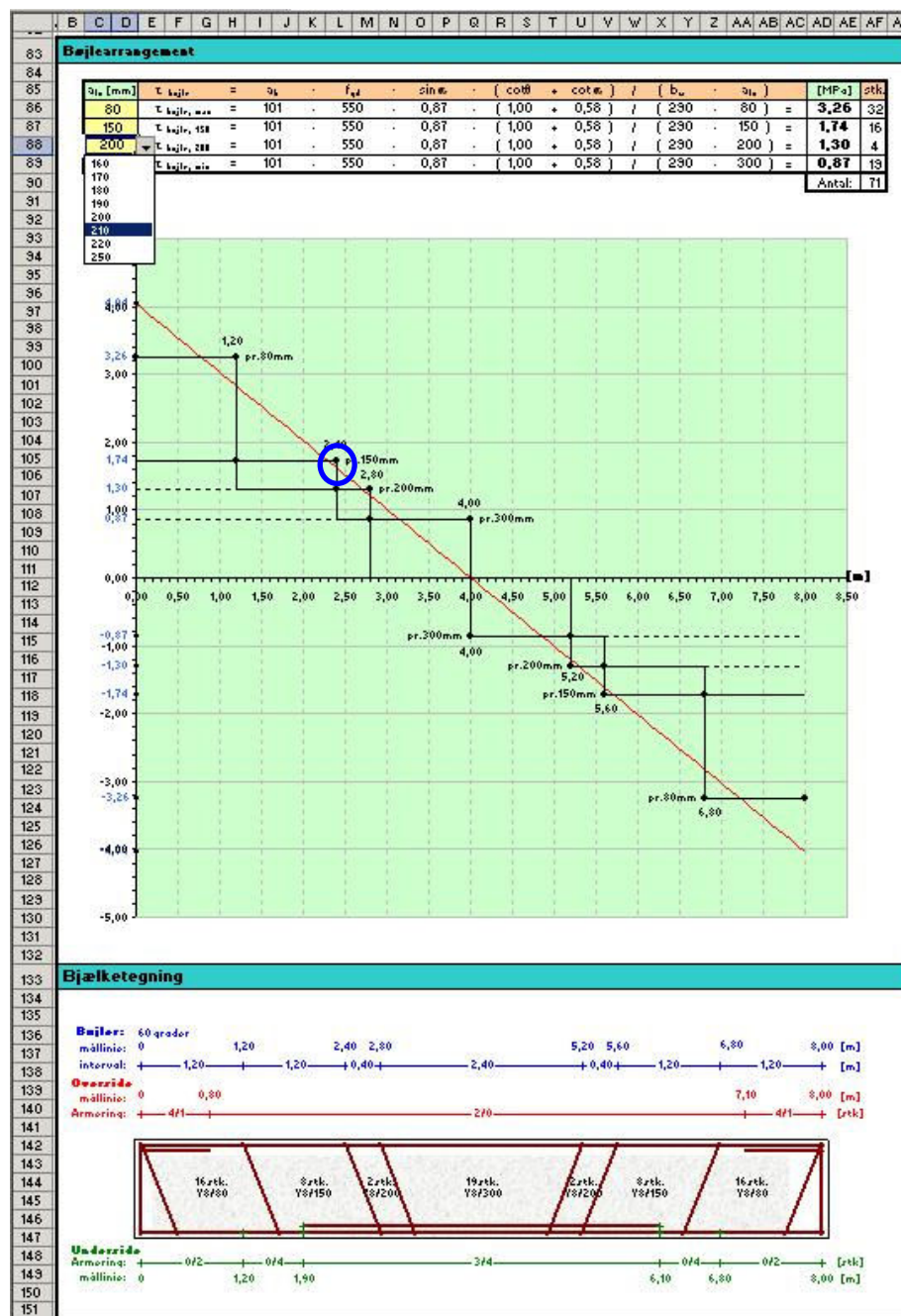
Figur 70: Længdearmering i over- og underside.

10.3.8 Fane "bøjlearmeringskurve"

De tidligere fundne minimums- og maksimumafstande for bøjlearmeringen er placeret henholdsvis i celle C86 og C89. Inden for dette interval er det muligt at vælge yderligere 2 bøjledelstrækninger.

I celle AF90 udregnes det totale forbrug af bøjler. En optimering af bøjleantal sker ved justering af bøjleafstande således at delstrækningerne kun lige skærer den røde linie for forskydningskræfterne. Dette er illustreret for området i den blå cirkel.

Nederst konstrueres automatisk en bjælketegning baseret på det valgte arrangement af længdearmering og bøjlearmering. Tegningen understøttes af en mållinie for bøjler (blå), oversidearmering (rød) og undersidearmering (grøn).



Figur 71: Bøjleafstande og bjælketegning med bøjleplacering.



SAG: Eksamensprojekt ved DTU-BYG	DATO: 2011-08-15
EMNE: Udvikling af IFC-kompatibelt dimensioneringsprogram	INIT: TH /
	SIDE: 97 AF: 119

10.3.9 Fane "Pris"

I et forsøg på at give beregningsprogrammet en ekstra dimension – er der lavet nedenstående priskalkulation for betonbjælker. Beregninger bygger på prisoverslag som Betonelementforeningen udarbejdede i år 2003, men her omarbejdet til diverse formler.

Beregning tager udgangspunkt i en grundpris på et kvadratisk tværsnit (række 9) inklusiv 80 kg armering pr. m³. Disse priser er omsat til graf og ligning, som bruges til udregning af pris for et vilkårligt tværsnit. Til prisen skal lægges udgifter for diverse ekstra arbejder (række 15-22).

Da priser er baseret på år 2003 – er der i række 55 mulighed for regulering ved byggeomkostningsindekset, som løbende bliver offentliggjort af Danmarks Statistik.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
2	DTU		SAG: Eksamensprojekt DTU-BYG																Bjælkenr: B9_02		DATO: 2011-08-05											
3			EMNE: Betonbjælke med slap armering																LK 1.A		INIT: TMH / DTU											
4																			SIDE: 16		AF: 17											
6	Betonelementforeningen																															
6	Overlagspriser 2003																															
8	Bjælker uden forspænding - Grundpris inkl. 80 kg armering pr. m³. Frit leveret indtil 75km fra fabrik.																															
9	Tværsnit	150x150	180x180	240x240	300x300	360x360	420x420	500x500	600x600	mm																						
10	Vægt	0,054	0,078	0,138	0,216	0,311	0,423	0,6	0,864	ton/lbm																						
11	Kvadratiske	9000	7200	5200	4200	3200	2600	2300	2100	kr./tons																						
12	Kvadratiske - vandret	490	560	720	910	1000	1100	1380	1810	kr./lbm																						
14	REGULERINGSPRISER:																															
15	Varianter* : 1000 kr.																															
16	Ekstra armering op til Ø10 mm : 15 kr./kg																															
17	Ekstra armering Ø12 mm og større : 12 kr./kg																															
18	Inserts, cadmierede, M16 : 30 kr./stk																															
19	Konsoller, ekskl. armering. Opadrettet i form : 300 kr.																															
20	Lejleplader (ekskl. materialeomkostninger og korrosionsbeskyttelse) : 100 kr.																															
21	For moderat miljøklasse beregnes et tillæg på : 100 kr./ton																															
22	For aggressiv miljøklasse beregnes et tillæg på : 250 kr./ton																															
24	Bjælke:														Korrektion for størrelse:																	
25	Længde	:												8000 mm	De i tabellen anførte priser pr. ts og pr. løbende meter gælder for:																	
26	Højde	:												800 mm	<ul style="list-style-type: none"> • elementer med en længde på mindst 3 m • dog mindst 10 x tværsnitsdimensionen 																	
27	Bredde	:												400 mm	Rektangulære elementer kan beregnes som kvadratiske, idet vægten pr. løbende meter beregnes og kr./lbm aflæses i tabellen.																	
28	Ækvivalent kvadratside	:												566 mm																		
29	Tværsnitsareal	:												0,32 m ²																		
30	Vægt pr. lbm	:												0,768 ton/lbm																		
31	Vægt	:												6,144 ton																		
34															Forudsætninger:																	
35	Vægte beregnes uden fradrag for evt. udspæringer.																															
36	Normal udførelse, udformning og armeringsplacering.																															
37	Passiv miljøklasse.																															
38	Ingen indstøbningsdele ud over løft og montageinserts.																															
39	Overflader jf. BPS 24, BO 21-22 og 23																															
40	Projekteringsomfang jf. BPS 113, model 3b.																															
41	*) Varianter, tillæg pr. produktionstegning,																															
42	tillægget indbefatter administrationen og håndteringen af varianten,																															
43	men ikke de forhold, der har medført varianten, som f. eks. en																															
44	udspæring eller lignende.																															
47	y = 1546 * x + 478																															
48	= 1546 * 0,768 + 478 = 1665 kr/lbm																															
50	Bjælkepris	:												8,00 m	:												1665 kr./lbm	=		13323 kr.		
51	Ekstra armering	:												17 kg/m ³	:												12 kr./kg	=		200 kr.		
52	Miljøklasse: Passiv	:												0 kr./ton	:												6,14 ton	=		0 kr.		
53	Sum																											13522 kr.				
55	Byggeomkostningsindeks	:												år 2010	:													=		109,8		
57	Total																											14847 kr.				

Figur 72: Priskalkulation (baseret på Betonelementsforeningen).

11. IFC RESULTAT

11.1 Indledning

Det skal understreges at interfacet kun er udviklet til IFC-filer fra Tekla. Det kan lyde lidt paradoksalt, men IFC-filerne skrives noget forskelligt og af tidsmæssige årsager er der kun fokuseret på Tekla. Mere tid ville dog ikke forhindre indlæsning fra andre S-BIM applikationer. Se endvidere afsnit 11.7.

11.2 IFC import til stål-beregningsprogram

Af nedenstående figur 73 kan i de 3 første hvide kolonner ses en indlæsning fra Structural View og de næste fra Coordination View.

De vigtige overordnede data i den blå ramme, som fastsætter koefficienter ved dimensioneringen – har hverken kunne findes i Tekla eller IFC-filen.

Understøtningsforhold og laster på bjælken kan indlæses, men hverken File Analyzer eller jeg kan forbinde disse data med den rigtige bjælke. Korrekt indlæsning vil dog fungere ved én bjælke. Indlæsning af tværsnitsgeometri samt placering er tilfredsstillende.

DTU		SAG: Eksamensprojekt DTU-BYG		DATO: 2011 - 08 - 15		
		EMNE: Stålbjælke med MVN-kræfter		INIT: TMH / DTU		
				SIDE: 00 AF: 15		
IFC datafil						
Input fil	C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop\nye ifc test\test_model.ifc				Væln Fil	Import
Output fil	testtest				Fuld	Export
Input	Beam					IFC name
Nr.	1	2	3	1	2	3
Schema	IFC2X3	IFC2X3	IFC2X3	IFC2X3	IFC2X3	IFC2X3
GUID	f9BknKivYTEP8qb	bbA5Pvd002p4p0001p4p000134pC				
Tag				TS_2628	TS_2611	TS_2602
Sted				DTU 118	DTU 118	DTU 118
Bygning				1e T Towhe T Towhe T Tow		
Etage				02th floor	01th floor	00th floor
Lastkombination						
Lastundersøgelse						
Bygningskategori						
Konsekvensklasse						
Sikkerhedsklasse						
Materiale kontrolk.						
Materialegruppe						
Drejningsplan (rotation)						
Translation x-retning	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Translation y-retning	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Translation z-retning	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Rotation x-retning	-1	0	-1	0	0	-1
Rotation y-retning	-1	0	-1	0	0	-1
Rotation z-retning	-1	0	-1	0	0	-1
Materiale	Steel	Steel	Steel	STEEL	STEEL	STEEL
Ståltipe				S235J0	S235J0	S235J0
Profil				HI	IPE500	HEB400
Højde				700	500	400
Bredde				200	200	300
Kropstykkelse				10	10,2	13,5
Flangestykkelse				20	16	24
Rundinger					21	27
Bjælkelængde				6000	6000	6000
Liniebelast, start	233,3	222,2	111,1	111,1	111,1	111,1
Liniebelast, slut	233,3	222,2	111,1	111,1	111,1	111,1
Punktlast	0	0	0	0	0	0
Punktlast afstand fra A						
Endemoment i A						
Endemoment i B						
Vægt pr. meter				114,61	91,06	155,27
Tværsnitsareal				14600	11174	19152
Inertimoment				0	5E+08	6E+08
Modstandsmoment, elst.						
Modstandsmoment, plas.						
Flydespænding, karak.						
Elasticitetsmodul, karak.	210000	210000	210000	210000	210000	210000
Bjælkepris						
Excel beregning	Klik	Klik	Klik	Klik	Klik	Klik

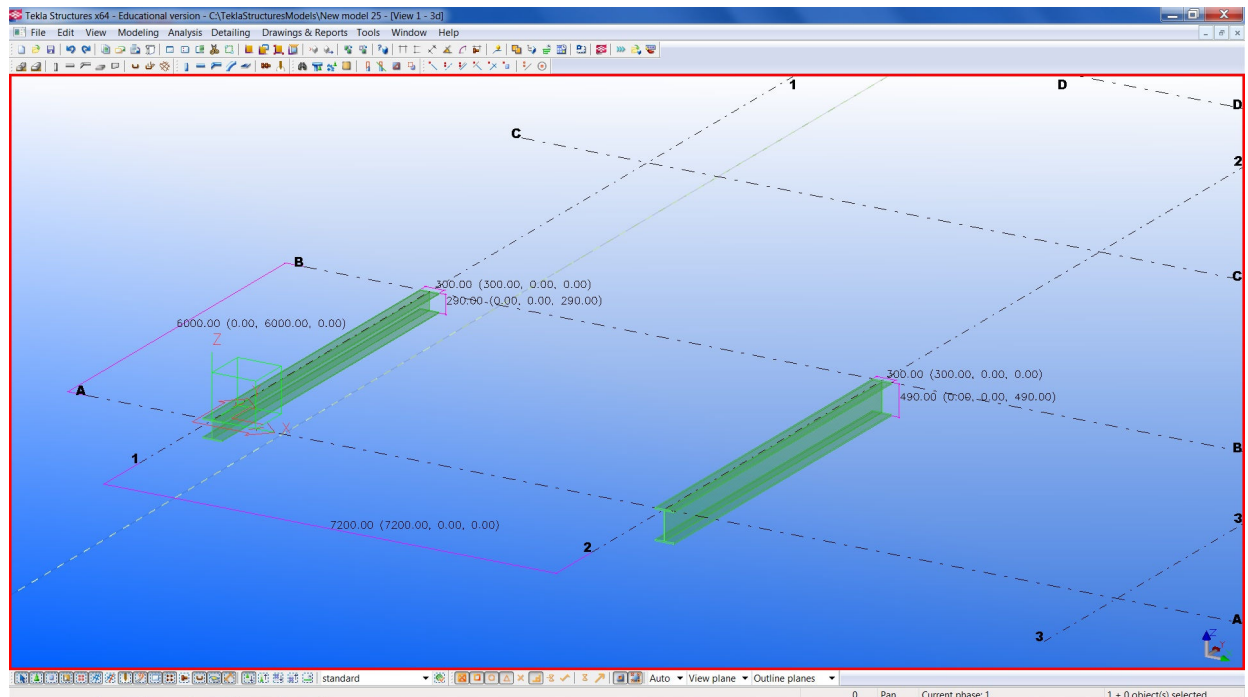
Figur 73: IFC-fane. Indlæsning fra Strutral View og Coordination View.

11.4 Stål – reimport til Tekla

Der er blevet foretaget mange test af ændrede valsede stålprofiler og alle er udført korrekt. Af nedenstående figur 75 kan ses et HEA300 til venstre (modul A-B/1). Profilet blev eksporteret som IFC-fil i Coordination View. Derefter hentet ind i beregningsprogram og ændret til HEA500. Til sidst blev det re-importeret til Tekla og indsat til højre (modul A-B/2) med korrekt resultat.

Det blev også testet om tværsnitsdimensioner for HEA300-profilet kunne ændres manuelt uden at ændre på navnet. Når det ændrede profilet indsættes i Tekla er det stadig som HEA300. Det blev også prøvet at ændre navnet fra HEA300 til HEA500 og lade dimensionerne være uændret. Også her valgte Tekla at "overrule" med navnet.

Der er også testet med opsvejste stålprofiler, som Tekla benævner "HI". Næsten alle export og import forløb korrekt, men der var nogle enkelte problemer hvis det opsvejste tværnit blev reduceret meget i størrelse fra beregningsprogrammet. Tekla ville så ikke indlæse profilet.

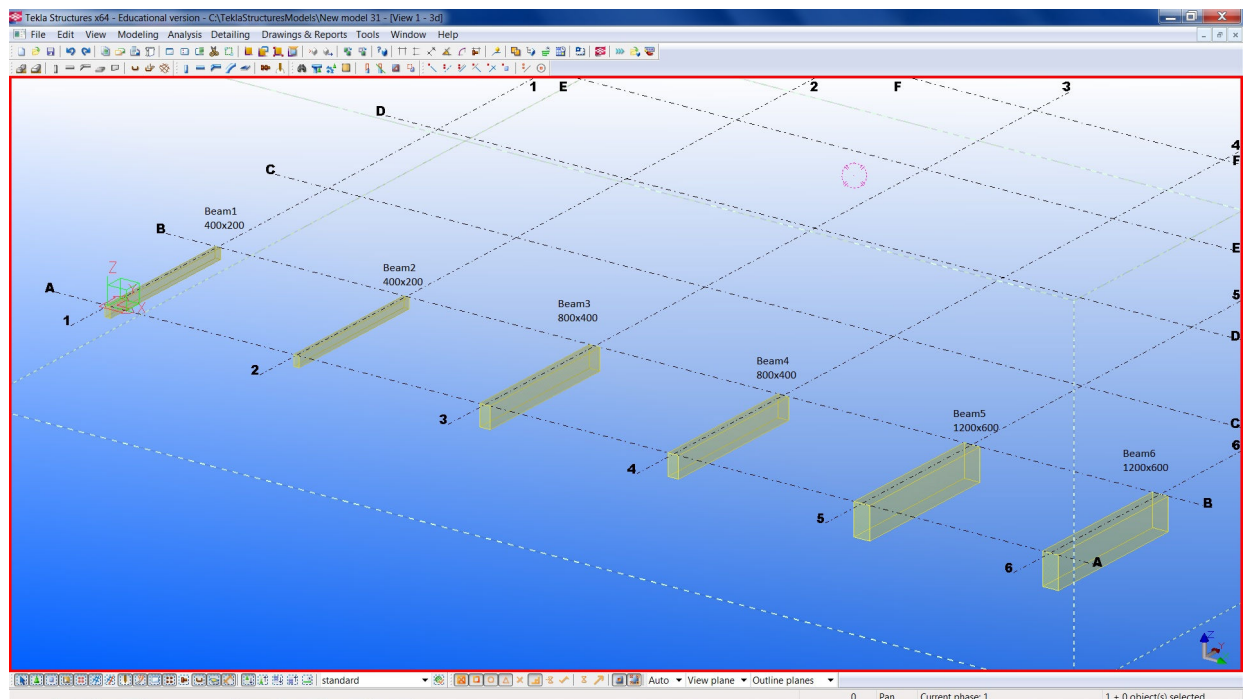


Figur 75: Re-import af stålbjælke med vellykket resultat.

11.5 Beton – reimport til Tekla af geometri

Nedenstående figur 76 viser test foretaget af re-import til Tekla. Først blev bjælke nr. 1 tegnet i Tekla med dimensionerne 400 x 200. Derefter blev bjælken eksporteret gennem Coordination View til IFC-fil. Fil blev hentet ind i beregningsprogrammet og ingen ændringer blev foretaget. IFC-fil blev eksporteret fra beregningsprogram og derefter hentet ind i Tekla som bjælke nr.2. Testen blev udført for at kontrollere om selve export/import/export/import-ledene fungerede, hvilket var tilfældet. Dernæst blev IFC-fil fra bjælke nr. 1 ændret i beregningsprogrammet til dimensionerne 800 x 400 og eksporteret succesfuldt til Tekla. Test blev gentaget for bjælke nr. 4 for igen at kontrollere pålidelighed. Bjælke nr. 1 blev så ændret til 1200 x 600 og igen med korrekt resultat. Til sidst blev det prøvet at ændre en allerede ændret bjælke. Således blev bjælke nr. 3 (800 x 400), som var ændret fra bjælke nr. 1 (400 x 200) – nu ændret "videre" til bjælke nr. 6 (1200 x 600). Igen virkede manipulationen fra beregningsprogrammet perfekt.

Testen viste at simpel bjælkegeometri kan håndteres af IFC samt at IFC interfacet i beregningsprogrammet virker.

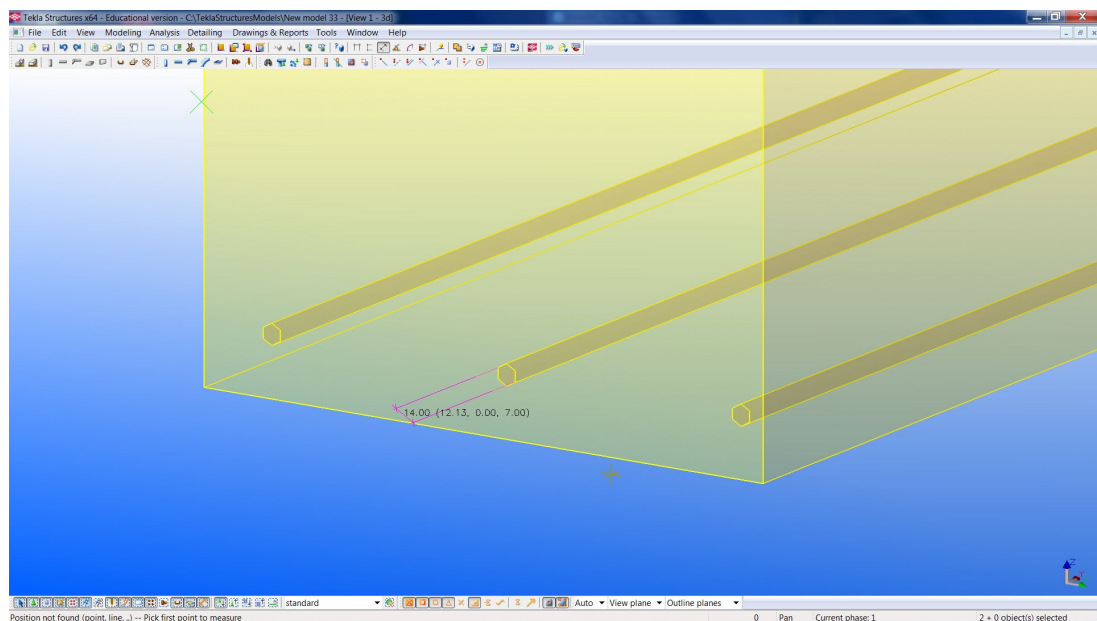


Figur 76: Re-import af 5 betonbjælker med vellykket resultat.

11.6 Beton – reimport til Tekla af armering

Tekla Structures 17.0 indeholder et imponerende og velfungerende armeringsmodul, der tillader export af selv meget avancerede armeringsarrangementer som intelligente objekter. Der blev også foretaget test af import af armering, hvilket gav et noget anderledes resultat.

Nedenstående figur 77 viser at Tekla gen-indsætter armering uden objekt-egenskaber. Armeringsdimension kan ændres, men skifter form fra runde til sekskantede stænger. Hvis tegningen "exploderes" er armeringsstænger stadig synlige, men det ikke mulig at fange dem med computermusen, da de ligger "gemt" i betonen. Brian Jønck fra Tekla Danmark fortæller, at der arbejdes på at kunne re-importere intelligent armering, men at det har været nedprioriteret grundet manglende efterspørgsel.

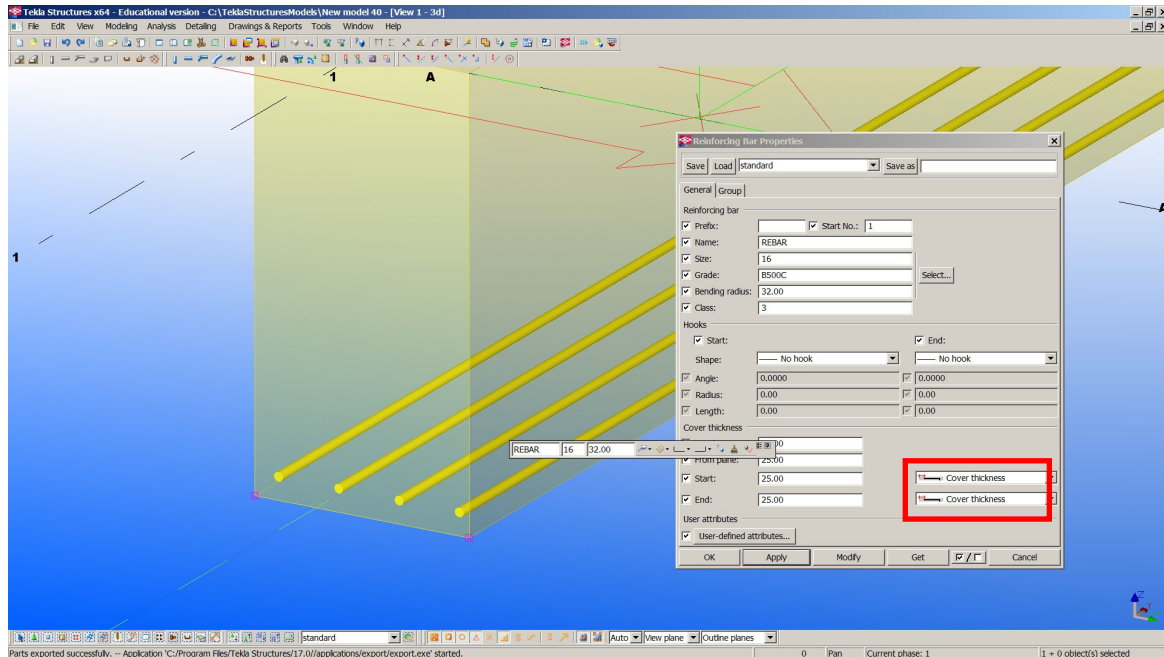


Figur 77: 4 x $\varnothing 16$ hovedarmering i bjælkeunderside.

Nedenstående figur 78 viser export af handelsdiameter $\varnothing 16\text{mm}$, men i IFC-filen er dette ændret til $\varnothing 19\text{mm}$, hvilket kan ses af figur 78 i den røde ramme. Dette skyldes at Tekla exporterer den nominelle diameter.

Hvis armeringen genindsættes i Tekla er det fortsat som $\varnothing 19\text{mm}$, hvilket synes ukonsekvent eller fejlagtigt. Af figur 78 kan der også ses, at tværsnitsarealet for armeringen er 201mm^2 , hvilket svarer til $\varnothing 16\text{mm}$ (!).

Til regnearket er der til allersidst i eksamensperiode lavet nogle programlinier i VBA-koden som konverterer Tekla's nominelle diameter til den "normale" anvendte handelsdiameter.



Figur 78: 4 x $\varnothing 16$ hovedarmering i bjælkeunderside.

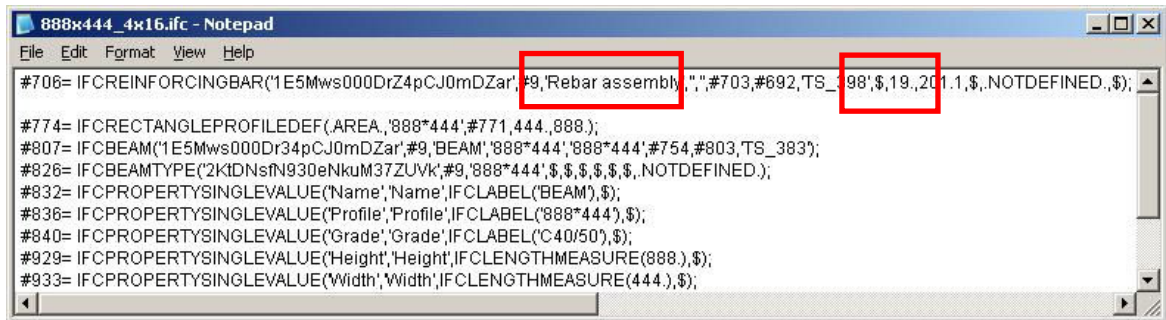
Af figur 79 ses også at de 4 x $\varnothing 16$ exporterede armeringsstænger ikke længere optræder enkeltvist, men er lagt sammen i en "Rebar assembly". Således kan beregningsprogrammet ikke skelne mellem antallet af "Rebars".

Det er afprøvet om armeringsdiameter kunne manipuleres enkeltvis via IFC "Swept Solid" uden resultat. Det er også afprøvet at flytte armeringsstænger via "Cartisian Point" og dette lykkedes. Muligheden for flytning af armering er interessant for at kunne regulere dæklaget i forhold til miljøklasse.

Tekla's begundelse er, at dæklag bliver fastsat i en S-BIM applikation og ikke skal bruges i analyse- eller arkitekt-program.

Men derved mangler muligheden for udveksling mellem S-BIM programmer og der kunne godt opstilles en situation hvor andre end konstruktionsingeniøren havde interesse i at vide hvor armeringen lå. Som det ses i figur 77 så indeholder armeringsinterfacet forskellige muligheder for definering af dæklag. Dette burde udnyttes meget bedre.

Revit IFC-filer kan indeholde "Rebar Cover".

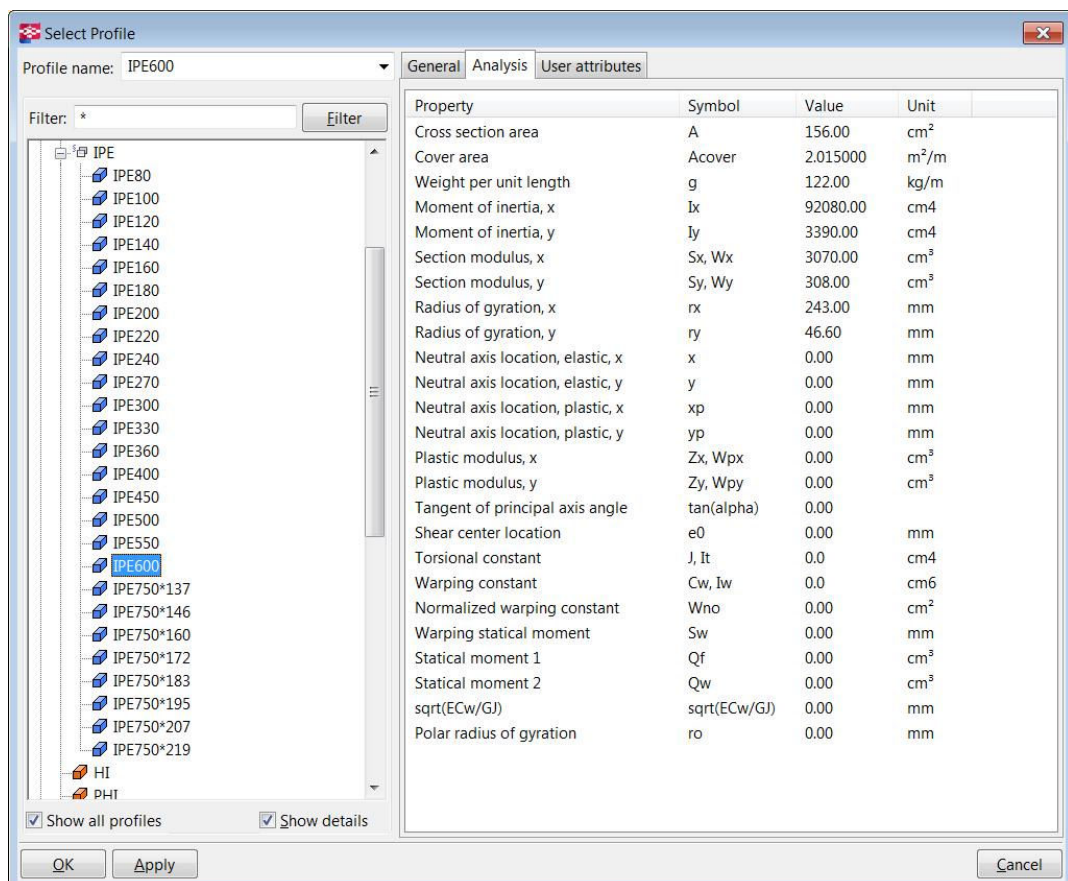


Figur 79: 4 x $\varnothing 16$ hovedarmering i bjælkeunderside ændret til Rebar assembly $\varnothing 19$ mm.

11.7 IFC export af tværsnitsdata fra Tekla

Fra Tekla bibliotek er der fundet en IFC_properties_sets.imp fil med mange tværsnitdata, men af disse data er det kun lykkedes at exportere inertimoment. Ifølge Brian Jønck fra Tekla Danmark er denne fil til beregning af tværsnitsdata et levn fra tidligere hvor Tekla havde indbygget StaadPro.

Men hvorfor ikke bare give mulighed for export når de nu ligger der?

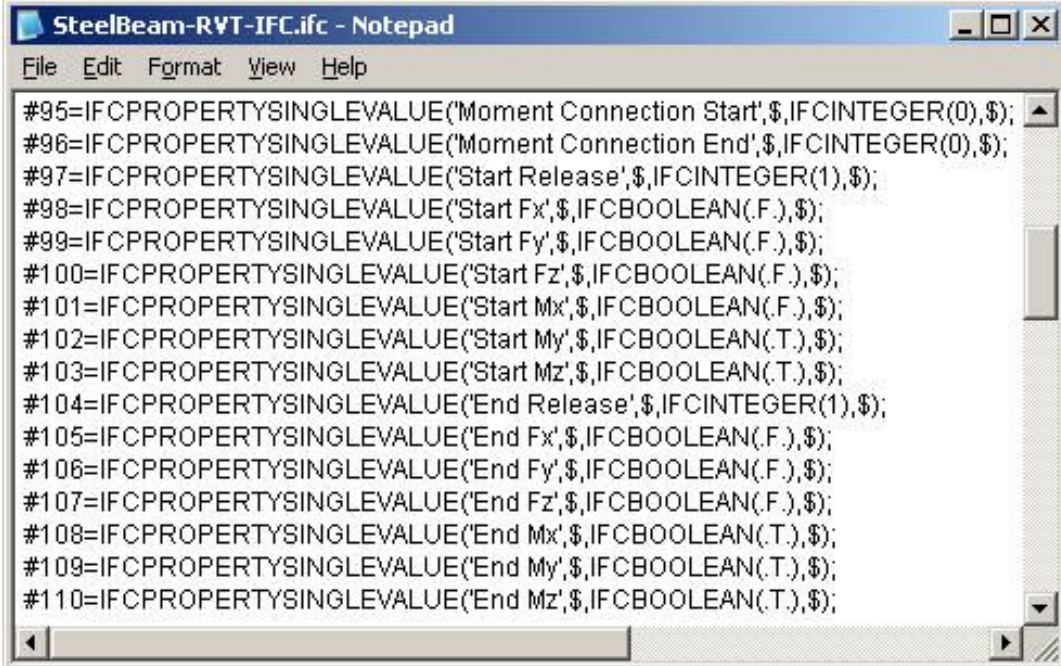


Figur 80: IFC_properties_sets.imp fil med tværsnitsdata.

11.8 IFC export af understøtningsforhold

Under eksamensprojektet er der lavet nogle enkelte IFC-filer fra Revit Structure 2012 for sammenligning med IFC-filer fra Tekla. Som omtalt i indledningen til dette kapitel – så kan visse dele af IFC-filen være skrevet forskelligt. Nedenstående eksempel viser hvorledes Revit Structure 2012 (figur 81) og Tekla Structures 17.0 (figur 82) definerer bjælkeunderstøtninger.

Det vil være muligt at skrive VBA-kode som henter begge varianter, men det virker som om af IFC specifikationen burde været mere præcis.



```
SteelBeam-RVT-IFC.ifc - Notepad
File Edit Format View Help
#95=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Moment Connection Start',$,IFCINTEGER(0,$);
#96=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Moment Connection End',$,IFCINTEGER(0,$);
#97=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Start Release',$,IFCINTEGER(1,$);
#98=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Start Fx',$,IFCBOOLEAN(F,$);
#99=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Start Fy',$,IFCBOOLEAN(F,$);
#100=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Start Fz',$,IFCBOOLEAN(F,$);
#101=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Start Mx',$,IFCBOOLEAN(F,$);
#102=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Start My',$,IFCBOOLEAN(T,$);
#103=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Start Mz',$,IFCBOOLEAN(T,$);
#104=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('End Release',$,IFCINTEGER(1,$);
#105=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('End Fx',$,IFCBOOLEAN(F,$);
#106=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('End Fy',$,IFCBOOLEAN(F,$);
#107=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('End Fz',$,IFCBOOLEAN(F,$);
#108=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('End Mx',$,IFCBOOLEAN(T,$);
#109=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('End My',$,IFCBOOLEAN(T,$);
#110=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('End Mz',$,IFCBOOLEAN(T,$);
```

Figur 81: IFC-fil fra Revit Structural View. Understøtningsnotation er (F) eller (T)

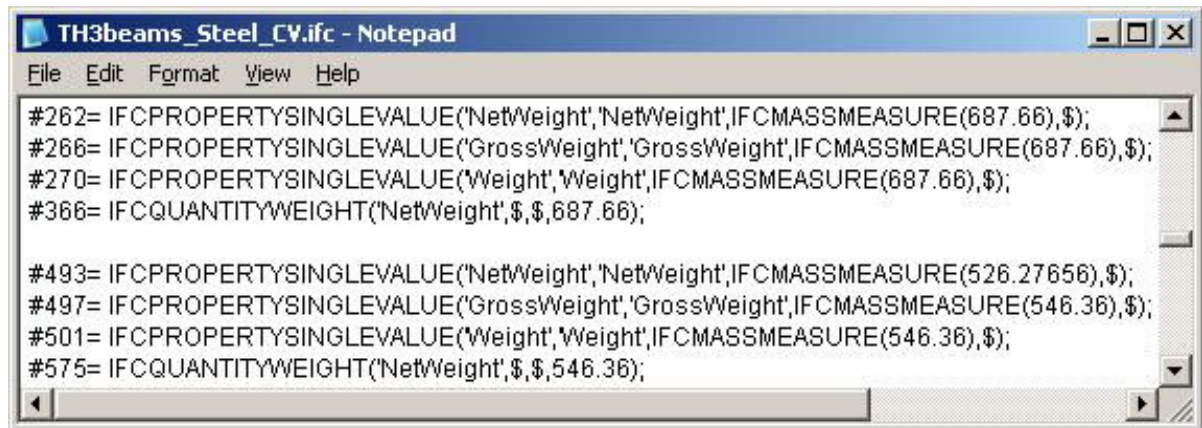


```
TH3beams_beton_SV.ifc - Notepad
File Edit Format View Help
#519= IFCSTRUCTURALPOINTCONNECTION('0A2S6wwofC2h0vA$14DROX';#32,'Node 9';
#528= IFCBOUNDARYNODECONDITION('Pinned supported node 9';-1,-1,-1,0,0,0);
#641= IFCBOUNDARYNODECONDITION('Fixed connection';-1,-1,-1,-1,-1,-1);
```

Figur 82: IFC-fil fra Tekla Structural View. Understøtningsnotation er (-1) eller (0)

11.9 IFC redundans

I forbindelse med detektering af informationer fra IFC-filer – bliver arbejdet besværliggjort af at den samme information optræder flere steder, hvilket kan ses af figur 83. Det er fint at skelne mellem Net- og GrossWeight, men andet og mere skaber forvirring.



```

TH3beams_Steel_CV.ifc - Notepad
File Edit Format View Help
#262= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('NetWeight','NetWeight',IFCMASSMEASURE(687.66),$);
#266= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('GrossWeight','GrossWeight',IFCMASSMEASURE(687.66),$);
#270= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Weight','Weight',IFCMASSMEASURE(687.66),$);
#366= IFCQUANTITYWEIGHT('NetWeight',$,$,687.66);

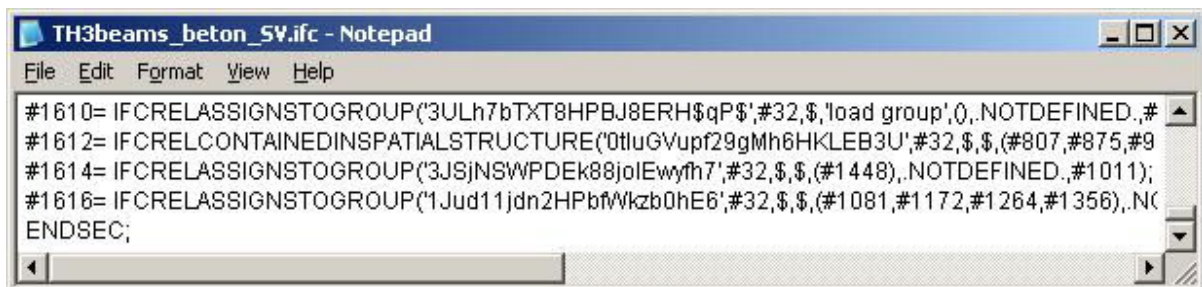
#493= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('NetWeight','NetWeight',IFCMASSMEASURE(526.27656),$);
#497= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('GrossWeight','GrossWeight',IFCMASSMEASURE(546.36),$);
#501= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Weight','Weight',IFCMASSMEASURE(546.36),$);
#575= IFCQUANTITYWEIGHT('NetWeight',$,$,546.36);

```

Figur 83: (Netto)vægt skrives 4 gange.

11.10 IFC fil-størrelse

Begge nedenstående IFC-filer åbnet i Notepad indeholder 3 betonbjælker, som er exporteret henholdsvis i Coordination View og Structural View. Figurernes formål er at vise størrelsesforskellen på IFC-filerne ved en betonbjælke med længde- og bøjlearmering. Som det ses bliver IFC-filen i Coordination View 100 gange større af at skulle definere armeringen.

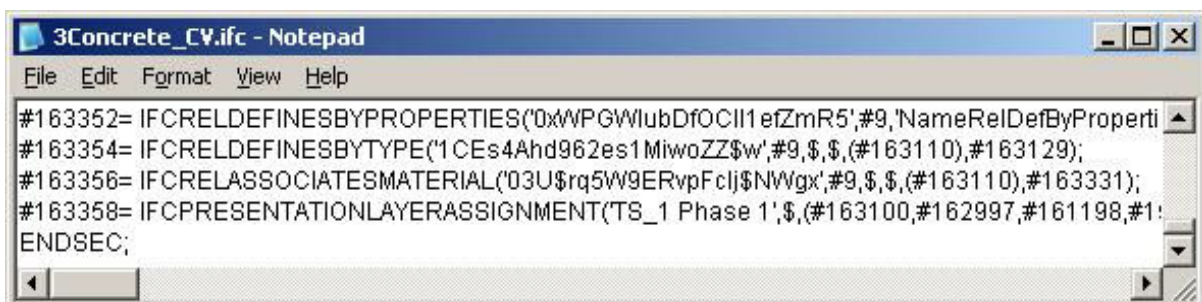


```

TH3beams_beton_SV.ifc - Notepad
File Edit Format View Help
#1610= IFCRELAASSIGNSTOGROUP('3ULh7bTXt8HPBJ8ERH$qP$'#32,$,'load group',0,NOTDEFINED,);
#1612= IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE('0tluGVupf29gMh6HKLEB3U'#32,$,$,(#807,#875,#9
#1614= IFCRELAASSIGNSTOGROUP('3JSjNSWPDEk88jolEwyfh7'#32,$,$,(#1448),NOTDEFINED,);#1011);
#1616= IFCRELAASSIGNSTOGROUP('1Jud11jdn2HPbfWkzb0hE6'#32,$,$,(#1081,#1172,#1264,#1356),);NC
ENDSEC;

```

Figur 84: IFC-fil af 3 betonbjælker fra Structural View med 1.616 linier



```

3Concrete_CV.ifc - Notepad
File Edit Format View Help
#163352= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('0xWPGWlubDfOCII1efZmR5'#9,'NameRelDefByProperti
#163354= IFCRELDEFINESBYTYPE('1CEs4Ahd962es1MiwoZZ$w'#9,$,$,(#163110),#163129);
#163356= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('03U$rq5W9ERvpFclj$NwVgx'#9,$,$,(#163110),#163331);
#163358= IFCPRESENTATIONLAYERASSIGNMENT('TS_1 Phase 1',$,$,(#163100,#162997,#161198,#1:
ENDSEC;

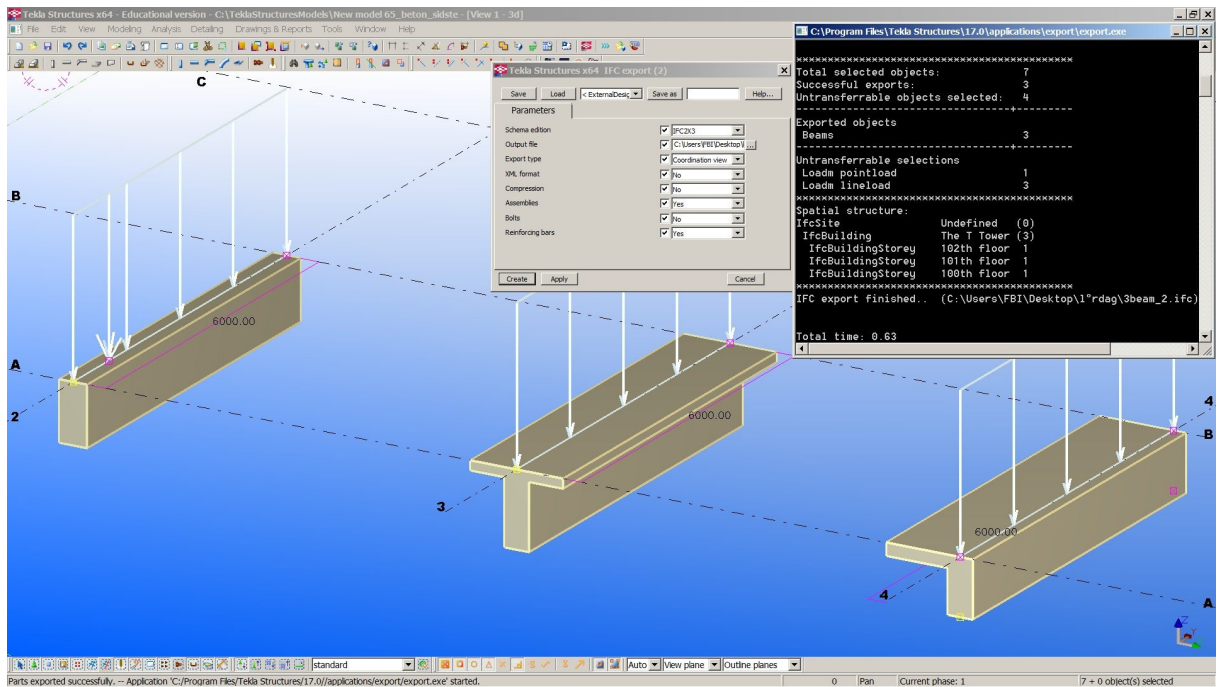
```

Figur 85: IFC-fil af 3 betonbjælker fra Coordination View med 163.358 linier

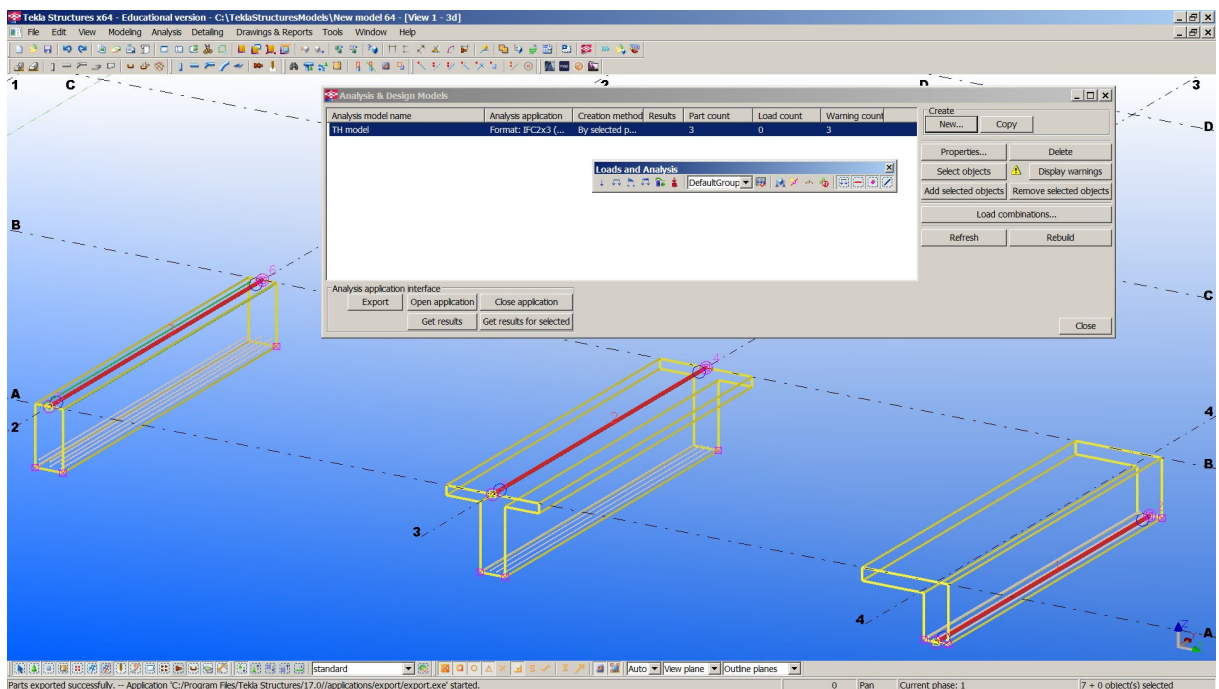
11.11 IFC testmodel

Til projektafleveringen er der lavet 3 betonbjælker, som er eksporteret både i Coordination View (figur 86) og Structural View (figur 87). Bjælkerne har forskellig form og indeholder forskellige materialeparametre. Det er mit håb, at vejleder og censor vil afprøve dem.

I figur 86 er lastlinie for L-tværsnit efterfølgende flyttet op i overside - lige som det ses for rektangulært tværsnit og T-tværsnit.



Figur 86: IFC-export af 3 forskellige betonbjælker fra Coordination View.



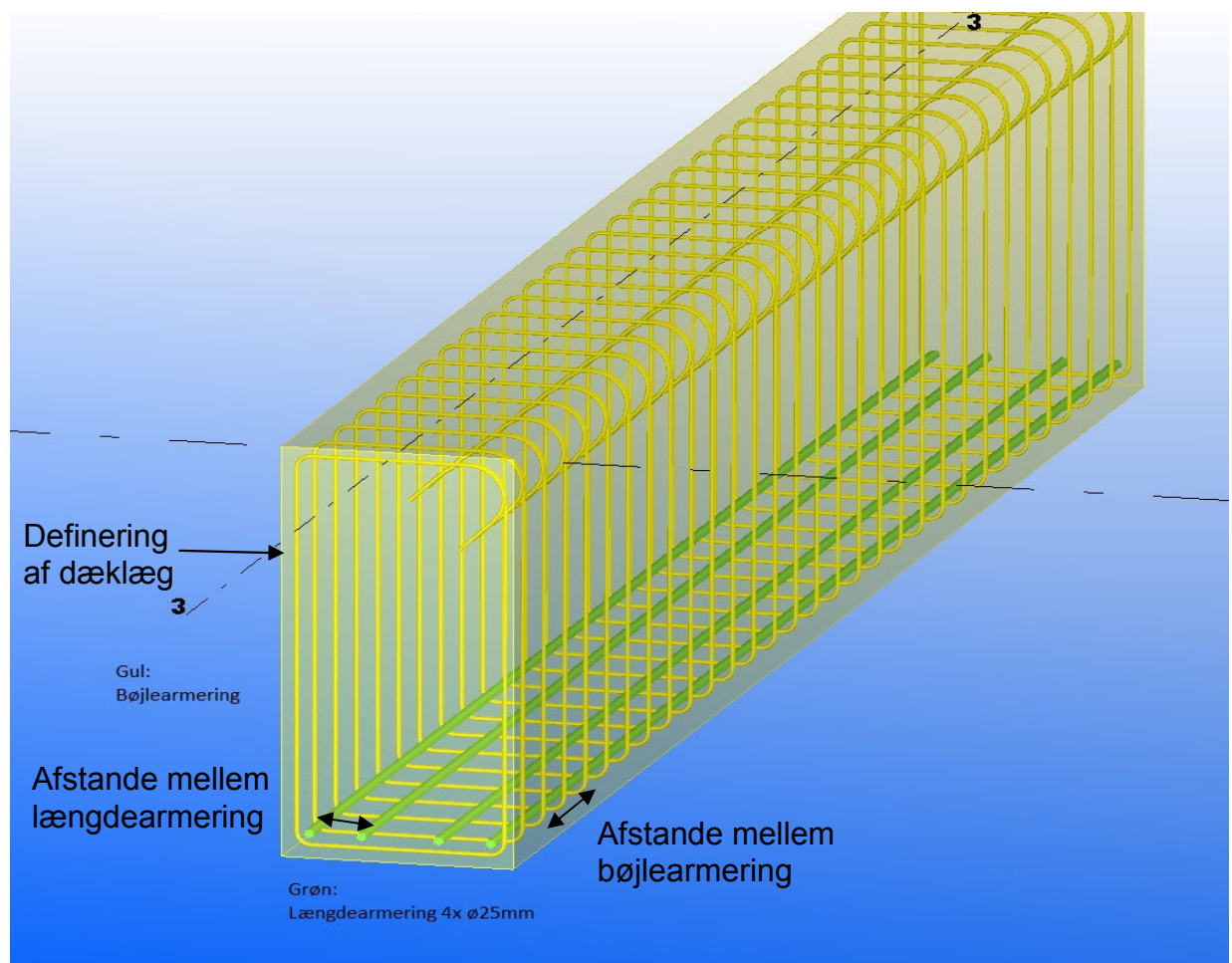
Figur 87: IFC-export af 3 forskellige betonbjælker som "stang-modeller" fra Structural View.

11.12 IFC forslag

Efter analyse af IFC-filer – er det mit forslag at flere bygningselementer bliver parameteriserede. Specielt for typer som `IfcProfilDef` bør dette være muligt, hvilket vil medføre større entydighed, mindre filer og lettere tilgang til IFC.

Det skal også være muligt, at definere dæklæg (`IfcCoverThickness?`) for både bund, top og sider af et bygningselement i beton. Også afstande mellem armering må tilføjes (som `IfcReinforcingBarsSpacing?`) samt bøjleafstande som (`IfcStirrupsSpacing?`).

Først derefter vil det være muligt at udveksle mere detaljeret information om den beregnede armering.



Figur 88: Forslag til forbedring af eksisterende IFC-skema.

11.13 Delkonklusion 3

Det er lykkedes at skabe et IFC-interface for beregning af bærende konstruktioner, som ikke kun kan dimensionere, men også optimere profiler på ganske få sekunder. I den henseende er programmet virkelig vellykket.

Resultatgennemgangen viser at indhentning af informationer fra Coordination View er tilfredsstillende, men også at der er problemer med at hente data fra structural view af IFC samt at laster og understøtninger ikke med sikkerhed kan forbindes med bjælkeelementerne.

Den rutine som er opbygget i at hente IFC-data og skrive VBA-kode - kunne sagtens være brugt på at hente endnu flere IFC-data.

Alle producerede IFC-filer er inspiceret manuelt i Notepad for at kontrollere om der skulle være værdifulde ekstra-oplysninger at hente, men det gør der ikke.

Det er valgt at kommentere programmeringen i VBA sammen med koden, som kan findes i Appendix D.

12. KONKLUSION

Eksamensprojektet viser at det er muligt at skabe et IFC-kompatibelt dimensioneringsprogram, men også at der synes et godt stykke vej endnu før IFC skemaet er færdigudviklet.

IFC kaldes af flere fagfolk for den laveste fællesnævner af alle involverede applikationer i et byggeprojekt - og derfor bliver funktionaliteter i nogle applikationer reduceret til det niveau af funktionalitet, som alle applikationer kan understøtte.

Det synes i midlertidigt som om, at det største problem ikke er i IFC-specifikationen, men snarere hos software-firmaerne selv. Projektet har påvist eksempler på problemer med implementeringen af IFC i eksisterende S-BIM programstrukturer samt problemer med entydighed. Det er således i eksamensperioden konstateret, at flere muligheder i IFC ikke bliver udnyttet.

Det udviklede IFC-interface og beregningsprogram kan let håndtere flere data og det har til tider været meget frustrerende ikke at kunne finde og udtrække flere informationer.

Beregningsprogrammet er testet på lærebøger og opgaveeksempler fra undervisningen, hvor det har afdækket små fejl hist og her. Det skal dog understreges, at programmet kun er en 'demo-version' og før en ibrugtagning i den virkelige verden – må programmet igennem flere test og eventuelt brugertilpasninger.

Tekla Structures 17.0 er et stykke imponerende S-BIM værktøj, som virker rigtig ingeniøragtig. Programmet havde dog 3 nedbrud i eksamensperioden samt en fastlåsning af programmet, da et antivirus-program viste sig at have hooket sig på Tekla. Problemet blev løst med programmet Autoruns. Revit Structure 2012 er også testet, men som "nybegynder" inden for BIM – har det været en for stor opgave, at skulle sætte sig ind i 2 applikationer. Der blev ikke oplevet software-problemer med Revit, som dog er mærkbart tungere og også synes at virke mindre ingeniøragtigt end Tekla, som trods nedbrud får min anbefaling.

Projektet har også vist, at Excel har overlevet tidernes skiften - fordi programmet grundlæggende er genialt. Der har ikke været konstateret begrænsninger for gennemførelse af projektet ved brug af Excel og VBA.

Der er også godtgjort, at der ligger et stort potentiale i BIM, men uden samarbejde vil ideen blot blive endnu en ny teknologi i form af en BIM-model. Således skal BIM implementeres i alle dele af byggeriet for at give mening.

Der er også forsøgt med et mere kritisk syn på BIM, da det er min vurdering, at andre eksamensprojektet har været lidt for optimistiske eller positive i synet på BIM.

Der er i udpræget grad mangel på forskning eller afprøvning af overførsel af konstruktionsdata og det er kun lykkedes at finde ét stort eksempel via internettet (ATC-75). Dette var meget sent i eksamensprojektet, og var det opdaget tidligere kunne det have givet en bedre strømpil på problemer i forbindelse med dette projekt.

En vigtig drivkraft for al udvikling er muligheden for at tjene penge. De rådgivende ingeniørfirmaer i Danmark har i mange år genereret meget små overskud, oftest under 5% og sågar har firmaer haft underskud i økonomiske opgangstider. Så små eller manglende overskud ville ikke blive tolereret i næsten alle andre brancher. AEC-branchen må se fremad og tage nye teknologier til sig.

Derfor må eventuelle besparelser ved BIM frem i lyset, og dette uafhængigt af interessenter som lover guld og grønne skove. Under eksamensprojektet er det ikke lykkedes at finde dokumentation for besparelser fra andet end korte svar fra brugerundersøgelser og mindre projekter.

Og dette aspekt kan lige pludseligt blive kompliceret. For kan man forestille sig, at nogen firmaer ikke vil dele oplysninger om deres eventuelle besparelser - for at opnå en konkurrence-fordel?

Problemet er også hvem som skal betale for sådanne undersøgelser og hvordan et sammenligneligt grundlag med traditionelt byggeri kan skabes. Her kunne uafhængig byggeøkonomisk forskning fra universiteter være en mulighed.

Den store spiller er Autodesk, som måske sidder på over halvdelen af CAD-markedet. Man kan få den tanke, at Autodesk ikke er interesseret i et velfungerende IFC - for deres mål er helt tydeligt, at dække alle grene inden for projektering, hvilket de kan gøre med direkte links mellem deres egne programmer. Og så bliver det "Big Business" i stedet for visioner og ideologi.

Ved at lade mindre firmaer bruge masser af tidsmæssige og økonomiske ressourcer på IFC – så har de mindre firmaer færre ressourcer på at udvikle deres egne programmer – og vil således udgøre en mindre trussel mod Autodesk. En sen natte-time kan det være svært at forstå, at Autodesk med omkring 10.000 ansatte på 15. år ikke har kunnet drive IFC hurtigere frem.

Almindelige computerbrugere, software-firmaer og offentlige instanser sloges i mange år med Microsoft om adgang til deres programmer og visse kilde-koder. Resultatet var manglende udvikling samt diktering af programudvalg og høje priser for licenser.

Ved lovbestemmelser og retslige afgørelser lykkedes det at få åbnet op for Microsoft's programmer – og resultatet er i dag en frodig underskov af små og store firmaer som leverer al skins programmer til internettet, desktops og mobiltelefoner.

Gennem projektførløbet er der studeret forskellige forhold omkring byggebranchen set i et historisk perspektiv, hvilket har givet en meget bedre forståelse for udfordringerne. Som omtalt indledningsvist er byggebranchen traditionsbunden. Fra tidernes morgen er byggeskik og håndværkmæssige færdigheder givet videre fra generation til generation og således lærte man ved 'learning by doing' af både fejlagtige og rigtige konstruktioner. Er dette også gået tabt?

Det ville være en skam hvis byggebranchen ikke griber denne chance med et neutralt udvekslingsformat som IFC, da alternativet kunne være yderligere 20 år med manglende udvikling – før myndighederne så også må gribe ind her.

Min egen vision og håb er, at det hele ikke ender i overvejelser om teknologi og økonomi, men snarere om at få menneskene med – hvis vi igen skal begynde at lære af vores fejl. Og så kan ordet 'traditionsbunden' måske igen forbindes med noget mere positivt for branchen.

Anerkendelse

I forbindelse med kandidatspecialet ønsker jeg at anerkende arbejdet af [Erabuild, 2008], som har været en vigtig informations- og inspirationskilde.

13. PERSPEKTIVIRING

Under denne perspektivering vil jeg benytte lejligheden til at kaste et par bolde på banen – som jeg håber andre studerende vil gribe til kommende projekter.

Det er hævet over enhver tvivl, at software-firmaer vil blive mere magtfulde og vil prøve at diktere prisen på programmer, som en hel AEC-branchen vil blive mere og mere afhængige af. Derfor kunne perspektivet blive, ligesom for bilindustrien, at kræfter vil samle sig om større og færre ingeniørfirmaer med økonomiske ressourcer og fagspecialister.

Der må foretages en overordnet tanke og vurdering af hvor branchen er på vej hen. Eller skal BIM blot være endnu en udgift - som almindelig mennesker/forbrugere må betale?

Er vejen mere og mere detaljerede byggeprojekter hvor alle naturfænomener søges kontrolleret? Og der dette i virkeligheden en illusion og et forsøg på at lege Gud? Skal kræfter i stedet bruges på at udvikle billigere boliger – så flere mennesker (i hele verden) kan få eget tag over hovedet?

Almindelige mennesker kan blive drivkraft hvis de hører om lavere priser via BIM. Eller skal en eventuel fortjeneste blot puttes i branchens egen lomme?

Er arkitekter tegnere af huse i fremtiden hvis CAD-programmer indeholder enorme biblioteker af bygningsobjekter, som kan kombineres i det uendelige – således at almindelige mennesker selv vil og kan tegne deres egne huse mere eller mindre professionelt?

Er ingeniører beregnere af huse i fremtiden grundet software-udviklingen? Er software så veludviklet om 10-20 år, at ingeniører ikke kan påberåbe at skulle tjekke beregninger?

Set i lyset af den hidtidige udvikling - er det så ikke fornuftigt, at myndigheder giver branchen yderligere skub, som kan bringe den ud over isen?

Med det indre marked i Europa og arbejdskraftens frie bevægelighed – er det så muligt at (gen)opnå en organisering i byggebranchen som tilgodeser fremskridt?

På efterfølgende sidste side – vil jeg præsentere mit eget lille bidrag til en vision om større åbenhed og tilgængelighed:



SAG: Eksamensprojekt ved DTU-BYG	DATO: 2011-08-15
EMNE: Udvikling af IFC-kompatibelt dimensioneringsprogram	INIT: TH /
	SIDE: 113 AF: 119

Nedenstående figur 88 præsenterer det udviklede program i html-udgave, hvilket åbner mulighed for, at det udviklede beregningsprogram kan bruges til internetberegninger fra desktop eller mobiltelefon. En gratis løsning, som jeg vil arbejde videre på – og som kan give nogle perspektiver i forhold til mobilitet og udvikling også i den tredje verden, hvor ingeniører måske ikke har råd til dyre dimensioneringsprogrammer.

Input	Beam	1	2	3	1	2	3	1	2	IFC name
Nr.		1	2	3	1	2	3	1	2	
Schema	IFC2X3	IFC2X3	IFC2X3	IFC2X3	IFC2X3	IFC2X3	IFC2X3	IFC2X3	IFC2X3	IfcBeam
GUID	3433Nxxf9	3cK06A	1HKcH0	1EIXxc0	1EIXxc0	1EIXxc0	1E9OzS	1E9OzS	1E9OzS	IfcBeam
Tag				TS_2628	TS_2611	TS_2602	TS_396	TS_383		IfcSite
Sted				DTU 118	DTU 118	DTU 118	Undefined	Undefined		IfcBuilding
Bygning				The T	The T	The T	Thomas	Thomas		IfcBuildingStorey
Etage				102th	101th	100th	200th	100th		
Lastkombination										
Lastundersøgelse										
Bygningskategori										
Konsekvensklasse										
Sikkerhedsklasse										
Materiale kontrolkl.										
Materialegruppe										
Bøjningplan (rotation)										
Translation x-retning	-1-1	-1-1	-1-1							IfcBoundaryNodeCondition
Translation y-retning	-1-1	-1-1	-1-1							IfcBoundaryNodeCondition
Translation z-retning	-1-1	-1-1	-1-1							IfcBoundaryNodeCondition
Rotation x-retning	-10	-10	0-1							IfcBoundaryNodeCondition
Rotation y-retning	-10	-10	0-1							IfcBoundaryNodeCondition
Rotation z-retning	-10	-10	0-1							IfcBoundaryNodeCondition
Materiale	Steel	Steel	Steel	STEEL	STEEL	STEEL	STEEL	STEEL		IfcRelAssociatesMaterial
Ståltipe				S235J0	S235J0	S235J0	S355JR	S235JR		Tekla_General
Profil				HI	IPE500	HEB400	IPE600	HEA500		Tekla_General
Højde				700	500	400	600	490		Tekla_Quantities
Bredde				200	200	300	220	300		Tekla_Quantities
Kropstykkelse				10	10,2	13,5	12	12		IfcIShapeProfileDef
Flangetykkelse				20	16	24	19	23		IfcIShapeProfileDef
Rundinger					21	27	24	27		IfcIShapeProfileDef
Bjælkelængde				6000	6000	6000	6000	6000		Tekla_Quantities
Liniebelast. start	233,3	222,2	111,1	111,1	111,1	111,1	111,1	111,1		IfcStructuralLoadLinearForce
Liniebelast. slut	233,3	222,2	111,1	111,1	111,1	111,1	111,1	111,1		IfcStructuralLoadLinearForce
Punktlast	0	0	0	0	0	0	0	0		IfcStructuralLoadSingleForce
Punktlast afstand fra A										
Endemoment i A										
Endemoment i B										
Vægt pr. meter				114,61	91,06	155,27	122,46	155,04		Tekla_Quantities
Tværsnitsareal				14600	11174	19152	15104	19128		Tekla_Quantities
Inertimoment				0	5E+08	6E+08				Tekla_Thomas
Modstandsmoment, Modstandsmoment, Flydespænding, karakter. Elasticitetsmodul	210000	210000	210000	210000	210000	210000	210000	210000		IfcMechanicalSteelMaterialProperties

Figur 88: Regneprogram som hjemmeside (.html)

14. REFERENCELISTE

Bøger:

EN 1992-1-1:2004 AC:2008. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. 2004.

DS/EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. Dansk Standard, 2008. 3. edition.

DS/EN 1993-1-1. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. Dansk Standard, 2007. 2. edition.

E. Bejder and W. Olsen. Anlægsteknik 2 – styring af byggeprocessen, Polyteknisk Forlag, 2005.

G. Heshe et la. – Betonkonstruktioner, 2005, 4. udgave

K. Thomsen – Massive drager, 1973, 4. udgave

N. J. Gimsing – Pladedrager, 2000, Polyteknisk Forlag 3. udgave

C. Eastman - BIM Handbook, A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, John Wiley & Sons Inc., 2008

C. Eastman - Building Information Modelling. 2009.
<http://bim.arch.gatech.edu/?id=402>

Firmaer

Solibri. Solibri Model Checker, 2011
<http://www.solibri.com/solibri-model-checker.html>

Tekla. Tekla Structures 17.0, 2011.
<http://www.tekla.com/international/products/tekla-structures>

Myndigheder

http://www.ebst.dk/file/3301/Byggeriets_handlingsplan.pdf
http://www.stm.dk/p_8139.html [COP15]

Eksamensprojekter

T. Hejnfelt & R. Øksengaard. The use of 3D and BIM technology for structural analysis and design. Master's thesis, Technical University of Denmark, 2007.

A. K. Nielsen & S. Madsen. Structural modelling and analysis using BIM tools
Master's thesis , The School of Civil Engineering, Aalborg University , 2010

N. Trelidal. Integrated Data and Process Control During BIM Design
Master's thesis, Technical University of Denmark, 2008.

Organisationer og foreninger

<http://www.aia.org>

http://www.clibyg.com/dyn/files/normal_items/179-file-1/Produktivitet%20i%20byggeriet.pdf

<http://www.ATCouncil.org> [ATC-75]

bips [2006], *3D Arbejdsmetode*.

T. Liebich. Highlights of IFC2x4 (unveiling IFC2x4 presentation), 2010.

<http://www.iaitech.org/downloads/accompanyingdocuments/presentations/Unveiling%20IFC2x4.pdf>

Det Digitale Byggeri.

http://www.detdigitalebyggeri.dk/public_client/de-fem-bygherrekrav

http://www.detdigitalebyggeri.dk/public_client/bygherrekravene.

<http://www.detdigitalebyggeri.dk/tech-article/ifc-%E2%80%93-ifc-modeller>.

IfcWiki - Industry Foundation Classes.

http://www.ifcwiki.org/index.php/Main_Page.

buildingSMART.

<http://www.buildingsmart.com/bim>.

<http://buildingsmart-tech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>

<http://www.iai-international.org/About/History.html>

<http://www.iai-tech.org/services/fag/fag-general-questions>.

http://www.iai-tech.org/ifc/IFC2x4/rc1/html/change/IFC2x4-rc1_whats_new.htm.

<http://www.iaitech.org/ifc/IFC2x3/TC1/html/index.htm>

NIST. CIS/2 and IFC - Product Data Standards for Structural Steel, 2010.

<http://cic.nist.gov/vrml/cis2.html>

<http://www.gbxml.org/about.htm>

www.cis2.org

<http://dcom.arch.gatech.edu/teklaifc/> [Georgia Tech, Tekla ST-4]

www.egypteducation.org/moodle/.../buildingSMART-Invitation-02.pdf

Edgar and D. Smith. Building Information Modeling (BIM), 2008:

<http://www.wbdg.org/bim/bim.php>

Andre hjemmesider besøgt:

http://www.tedsive.com/docs/Sive_White_Paper_BIM.pdf

http://www.mittaviiva.fi/hannu/studies/2007_penttila_cf.pdf

[http://www.bimoutsourcing.com/bim-return-on-investment-\(ROI\).htm](http://www.bimoutsourcing.com/bim-return-on-investment-(ROI).htm)

http://www.gostructural.com/magazine-article-gostructural.com-4-2010who_acute_s_using_bim-7840.html

<http://www.bimworld.com/>

http://vaerdibyg.dk/index.php?option=com_content&view=frontpage&Itemid=1

<http://www.google.dk/imgres?imgurl=http://1.bp.blogspot.com> [Lighthart, 2010]

<http://en.wikipedia.org/wiki/AutoLISP>

<http://www.eracobuild.eu/index.php?id=27>

<http://www.aecbytes.com/feature/2007/BIMSurveyReport.html>

<http://www.bim-i.nl/nieuws/nieuwsbericht/bim-tijd-4dbimteam.html>

Artikler

[Bakkmoen et al. 2007] IFC-projekt Nye Ahus – Evalueringsrapport, C.F. Møller.

[Bazjanac 2007] 'Impact of the U.S. National Building Information Model Standard (Nbims) on Building Energy Performance Simulation'. Lawrence Berkeley National Laboratory.

[COWI, 2009] 'Digital forvaltning af bygninger for vugge til grav'.

[J. L. Coenders, 2009] 'Parametric and associative design as a strategy for conceptual design and delivery to BIM'. Symposium 2009, Valencia, pages 1112–1123.

[J. Karlshøj, H. Bell, O. J. Karud, A. Kiviniemi, and V. Tarandi, 2008] 'Review of the Development and Implementation of IFC compatible BIM'. Erabuild, 2008.

[J. Karlshøj, Jan; Bennetsen, Jens chr. et al., 2007] 'Håndbog i 3D-modeller'. Det digitale byggeri.

[H. C. J. Linderoth, 2010] 'Understanding adoption and use of BIM as the creation of actor networks'. Automation in Construction, 19(1):66 – 72.

[T. Liebich, 2009] IFC 2x Edition 3 Model Implementation Guide. buildingSMART International Model Support Group.

[Edgar, A., East, B., Hammond, D. et al. 2007] National building information standard, Technical report, National Institute of Building Sciences. Version 1.0 Part 1: Overview, Principles and Methodologies.

[C. Robinson, 2004] 'Structural building information modelling'. The Structural Engineer 81(13).

[C. Robinson, 2006] 'Connecting to BIM information with application program interfaces'. The Structural Engineer 84(13), 27–29.

[C. Robinson, 2006] 'Structural BIM: discussion, case studies and latest developments'. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 16(4):519 – 533.

[Dong et al. 2007] 'A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments'. Carnegie Mellon University & United Technologies Research Centre.

[Haug 2007] 'Experiences in development and use of a digital Building Information Model (BIM)'. The Norwegian Agency of Public Construction and Property.

[H.S.Chadha, J.W.Baugh, and J.M.Wing, 1994] 'Formal Specification of AEC Product Models'.

[R. Lipman, 2010] 'Developing Coverage Analysis for IFC Files', National Institute of Standards and Technology.

[Khemplani 2005] 'The CIS/2 Format: Another AEC Interoperability'. AECbytes.
<http://www.aecbytes.com/buildingthefuture/2005/CIS2format.html>

[Kiviniemi 2005] 'Requirements Management Interface to Building Product Models'. Stanford University.



SAG: Eksamensprojekt ved DTU-BYG

DATO: 2011-08-15

EMNE: Udvikling af IFC-kompatibelt dimensioneringsprogram

INIT: TH /

SIDE: 117 **AF:** 119

[M. P. Gallaher, A. C. O'Connor, 2004] 'Cost analysis of inadequate interoperability in the U.S. capital facilities industry, Technical report, National Institute of Standards and Technology.

[NIBS 2007] National Building Information Modeling Standard, National Institute of Building Sciences.

[Nielsen & Kristensen, 2002] Paper 3: Lean Construction; Aalborg Universitet, februar 2002

[NIST 2004] 'Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry'. National Institute of Standards and Technology, 2004

[Rizos 2007] 'Next generation energy simulation tools: Coupling 3D sketching with energy simulation tools'. University of Strathclyde, 2007

[SmartMarket Report, 2008] 'SmartMarket Report; Building Information Modeling - Transforming Design and Construction to Achieve Greater Industry Productivity', McGraw Hill Construction, 2009

15. APPENDIX

Appendix A: IfcBeam attributter

Appendix B: Beregningsprogram for stålbjælker

Appendix C: Beregningsprogram for betonbjælker

Appendix D: VBA-kode til beregningsprogram