INTEGRERET PROJEKTERING OG INFORMATIONSUDVEKSLING

ANVENDELSE AF 3D-BYGNINGSMODELLER

René Skov Nielsen
Aalborg Universitet
Byggeri og Anlæg
Konstruktion
Diplomprojekt 2008

AALBORG UNIVERSITET

INS fakulteterne
Studienævnet for Byggeri og Anlæg
Sohngaardsholmsvej 57
Telefon 99 40 85 30
Mail acc@civil.aau.dk
http://bsn.aau.dk

Titel:

Integreret projektering og informationsudveksling –Anvendelse af 3D-bygningsmodeller

Tema:
Bygge- og anlægskonstruktion

Projektperiode:
01.10.2008 - 07.01.2009

Udarbejdet af:
René Skov Nielsen

Vejledere:
Kjeld Svidt
Poul Henning Kirkegaard

Omfang: 15 ECTS
Sidetal: 108
Bilagsantal og art:
1 bilag placeret bagest i rapporten
1 cd vedlagt

Synopsis:

Dette diplomprojekt omhandler begreberne integreret projektering og informationsudveksling, hvor begge dele ønskes at tage udgangspunkt i anvendelsen af 3D-bygningsmodeller.

Ved at udveksle data mellem modeller, opnåes en genanvendelseseffekt, der skal resultere i en mere effektiv dimensioneringsproces. Her gennemføres FEM-beregninger i en analysemodel, hvor der er lavet et samlet setup af laster og lastkombinationer.

Omkring informationsudvekslingen belyses, hvordan denne foregår på traditionel vis mellem den rådgivende ingeniør og den udførende entreprenør. Gennem Det Digitale Byggeri og foreningen bips undersøges det efterfølgende, hvordan denne kan foregå i fremtiden.

En mere direkte kommunikation med udgangspunkt i en fælles bygningsmodel vurderes at kunne skabe et bedre samarbejde mellem parterne, hvilket gerne skulle resultere i en mere effektiv byggeproces.

Rapporten konkluderer, at der er mange fordele ved at anvende bygningsmodeller både til dimensioneringen og som grundlag for informationsudvekslingen. Den største barriere, i forbindelse med at fremme udviklingen indenfor området, vurderes at være manglende modenhed i byggebranchen.

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatteren.

Forord

Denne rapport er udarbejdet på 7. semester som en del af mit samlede diplomprojekt. Udover denne rapport udgøres projektet af digitalt materiale, der kan findes på internetsiden:

http://it.civil.aau.dk/it/education/thesis/rene_skov_nielsen_2008

Her findes bygningsmodeller og filer, der er udarbejdet i forbindelse med projektet. Disse ting findes også på den vedlagte cd, der desuden indeholder dokumentation af udførte interviews.

Diplomprojektet er udarbejdet som afslutning på min uddannelse indenfor konstruktionsretningen under Byggeri og Anlæg i henhold til gældende studieordning ved Aalborg Universitet under De Ingeniør-, Natur-, og Sundhedsvidenskabelige Fakulteter.

Forud for projektet har jeg gennemgået en fem måneders praktikperiode ved et rådgivende ingeniørfirma, hvor jeg har været inddraget i store dele af projekteringen af bærende konstruktioner. Gennem praktikperioden reflekterede jeg løbende over, hvordan tingene foregik og over samarbejdet både internt og med eksterne parter. Herigennem blev jeg opmærksom på, at der er utroligt mange ting, man skal holde styr på gennem en byggeproces, og samtidig skabtes en interesse for, om det kunne være muligt at gøre tingene anderledes og måske udnytte flere IKT-værktøjer. Dette selvfølgelig med det formål at skabe en mere overskuelig og effektiv byggeproces, til gavn for alle involverede parter.

Det er på denne baggrund, at dette diplomprojekt er blevet udarbejdet. Projektet har en anvendelsesorienteret tilgangsvinkel, hvilket danner baggrund for at præsentere fordele og ulemper ved det behandlede område. Dette er ligeledes valgt ud fra en overbevisning om, at det er fordrende for udviklingen indenfor området, hvis man bringer tingene ned på jorden.

Jeg ønsker at benytte denne lejlighed til at takke en række personer, der alle har været behjælpelige i forbindelse med dette diplomprojekt.

- Kjeld Svidt, AAU, hovedvejleder
- Poul Henning Kirkegaard, AAU, bivejleder
- Rikke K.T. Kruhøffer, MT Højgaard
- Peter Bo Olsen, MT Højgaard
- Per Olesen, MT Højgaard
- Brian Sørensen, MT Højgaard
- Per Andreasen, MT Højgaard
- Niels Risgaard Hansen, Rambøll Aalborg

Derudover skal der lyde en stor tak til Line Nielsen for støtte gennem projektperioden og hjælp med korrekturlæsning. Desuden takkes Envidan i Aalborg, som har været behjælpelige med trykning af denne rapport.

Læsevejledning

Gennem arbejdet med dette projekt, er der som nævnt udarbejdet en række præsentationer, i form af modeller, som findes på den nævnte internetside og på den vedlagte cd. Forståelsen af det samlede projekt støttes af disse præsentationer, da det selvsagt ikke er muligt at præsentere en 3D-bygningsmodel kun vha. bogstaverne og figurene i denne rapport. Rapporten formidler baggrunden, forudsætninger og resultaterne af arbejdet med området, som underbygges af diverse modeller og interviews. Gennem rapporten findes en del figurer, som alle er udarbejdet til denne rapport, hvis ikke der er angivet en kilde i figurteksten.

Til udarbejdelsen af rapporten er der anvendt et antal kilder, og henvisninger hertil er angivet med numre [xx]. Kilden er placeret umiddelbart efter det tekstafsnit, der bygger herpå. Hvis et helt afsnit bygger på en eller flere kilder, er disse placeret på en linie for sig selv sidst i afsnittet. Nummeret på kildehenvisningerne passer med numrene i litteraturlisten, der findes bagest i rapporten. Sidst i rapporten findes ligeledes et bilag, hvortil der henvises som bilag A.

Aalborg, januar 2009

_____
René Skov Nielsen

Don't wish it were easier, wish you were better. - Jim Rohn

Indhold

1 Indledning **1**

1.1 Konstruktionsingeniør i dagens Danmark 1

1.2 Udvikling af produktiviteten i den danske byggebranche 2

1.3 Det Digitale Byggeri 4

1.4 Projektafgrænsning 5

1.5 Metode 7

1.6 Rapportens indhold 9

I INTEGRERET PROJEKTERING **11**

2 Baggrund for arbejdet med en 3D-bygningsmodel **15**

2.1 Building Information Modelling 15

2.2 Hvad forstås ved en 3D-bygningsmodel 16

2.3 Kommunikation via et fælles format 18

2.4 Modeller 19

3 Dataudveksling **25**

3.1 Forsøg 1 - overførsel af bjælkeprofil 25

3.2 Forsøg 2 - overførsel af rammekonstruktion 30

3.3 Forsøg 3 - overførsel af buet trækonstruktion 33

3.4 Opsummering på forsøg 34

3.5 Andres erfaringer 35

4 Byggeprojekt - Siemens Wind Power **37**

4.1 Præsentation af byggeprojekt 37

4.2 Opbygning af komponentmodel 39
4.3 Tilretning af analysemodel 42
4.4 Stabilitetsanalyse 46
4.5 Dimensionering af stålelementer 49
4.6 Andre nyttige resultater 54
4.7 Overførsel af bygningsmodel tilbage til Revit 56
4.8 Opsummering på reprojektering 56

5 Delkonklusion **59**
5.1 Beregninger 59
5.2 Tegningsproduktion 60
5.3 Rolle- og arbejdsfordeling 60
5.4 SWOT 61

II INFORMATIONSUDVEKSLING MELLEM PROJEKTERENDE OG UDFØRENDE **63**

6 Status for anvendelse af bygningsmodeller **67**
6.1 Modelbaseret arbejdsmetode 67
6.2 På besøg i nutiden og fremtiden 71
6.3 Positiv holdning og vilje ved entreprenøren 73
6.4 Opsummering 76

7 Bygningsmodeller og informationsudveksling **79**
7.1 Hvad skal udveksles 80
7.2 Hvem er afsender og modtager 81
7.3 Hvordan foregår udvekslingen 81
7.4 Krav fra Det Digitale Byggeri 83
7.5 Hjælp fra bips 85
7.6 Opsummering 87

8 Informationsudveksling i fremtiden **89**
8.1 Ændring af informationsform 89
8.2 På opdagelse i modellen med en viewer 89

8.3 Mere direkte og dynamisk kommunikation 94
8.4 Bygningsmodellen helt ud på byggepladsen 98
8.5 Opsummering 99

III Afslutning **101**

9 Konklusion **103**
9.1 Integreret projektering 103
9.2 Informationsudveksling 104

10 Perspektivering **107**

IV BILAG **109**

A Laster **111**

1 Indledning

Dette kapitel har til formål at introducere indholdet og konteksten af dette projekt. Der tages udgangspunkt i arbejdsopgaverne for nutidens konstruktionsingeniør. Herefter behandles, om der er behov for udvikling indenfor byggebranchen. Dette gøres bl.a. ved at se på produktivitetsudviklingen gennem tiden samt set i forhold til andre lande, som Danmark normalt sammenlignes med. Desuden beskrives initiativet Det Digitale Byggeri set i forhold til dette projekt, efterfulgt af en afgrænsning af projektet, der præciserer fokus for indholdet og projektrammen. Kapitlet afsluttes med en videnskabsteoretisk beskrivelse af metoderne, der anvendes i forbindelse med udarbejdelsen af projektet.

1.1 Konstruktionsingeniør i dagens Danmark

Efter at have gennemført et halvt års praktikforløb ved et rådgivende ingeniørfirma, er det erfaret, at man som konstruktionsingeniør har mangeartede arbejdsopgaver. Hvor opgaverne tidligere hovedsageligt omhandlede beregninger og dimensioneringer, skal man nu bruge en større del af tiden på at varetage øvrige opgaver såsom koordinering, samarbejde og kommunikation. Denne udvikling vurderes at skyldes to årsager. Den ene at der hele tiden kommer nye og flere hjælpemidler, der gør dimensioneringsarbejdet nemmere, og den anden at der samtidig stilles større krav til et hurtigere og mere effektivt byggeri. Hvis dette skal kunne lade sig gøre, kræver det samarbejde og en god koordinering mellem parterne i byggeprocessen.

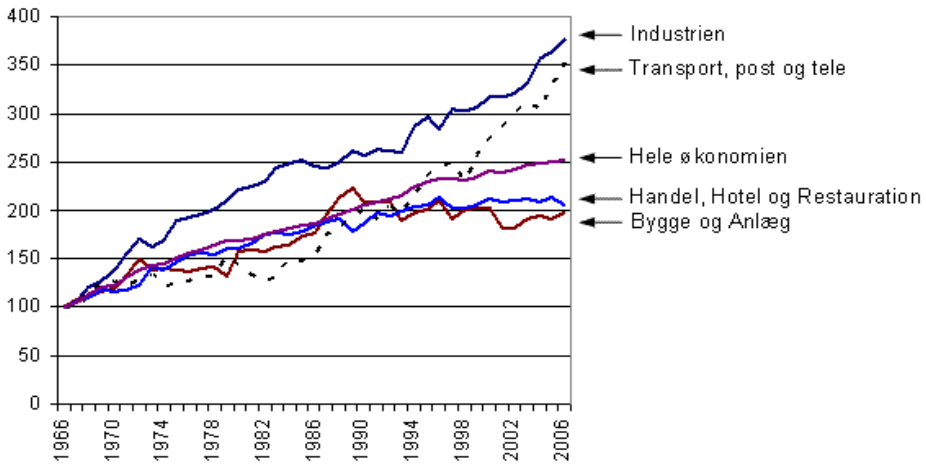
Samtidig udvikles de bygninger, som konstruktionsingeniøren har til opgave at projektere. Man anvender mere komplicerede organiske former og tilfører stadigt flere tekniske anlæg som f.eks. ventilation, køling osv. Dette kræver f.eks. i højere grad, at konstruktionsingeniøren og VVS-ingeniøren får koordineret, hvor der kan placeres kanaler og rør, da antallet heraf er steget. Derudover skal ingeniøren sørge for at kommunikere ud til entreprenøren, hvordan bygningen tænkes opført og i og med, at bygningerne bliver mere komplicerede, bliver denne opgave til stadighed mere krævende. Ting som dette er med til at der bruges mindre og mindre tid på de traditionelle ingeniøropgaver, mens koordinering og samarbejde optager mere og mere af ingeniørens dagligdag. Det er klart, at der stadig skal bruges tid på at dimensionere de forskellige elementer, men da man vha. computerbaserede løsninger får automatiseret flere og flere beregningsprocesser mm., som delvis kan genbruges fra gang til gang, bruges der mindre tid på denne del af jobbet.

Ligesom nutidens konstruktionsingeniør både skal kunne dimensionere bærende konstruktioner og formidle de fundne resultater, vil dette projekt både omhandle, hvordan det er muligt at anvende IKT[1]-værktøjer til dimensioneringen, og hvorvidt man kan forbedre samarbejdet mellem den rådgivende ingeniør og den udførende entreprenør ved at dette også tager sit udgangspunkt i anvendelsen af IKT-værktøjer.

1.2 Udvikling af produktiviteten i den danske byggebranche

Byggebranchen i Danmark har i mange år været kendetegnet ved at være traditionsbundet og nogle vil nok endda sige gammeldags. Dette skal dog ikke nødvendigvis opfattes som negative værdier, da det danske byggeri har været kendetegnet ved at have en høj kvalitet, og det må siges at være en god idé, at bygge tingene som man plejer, hvis det plejer at blive gode og holdbare bygninger. Det er derfor relevant at se nærmere på, om der gennem tiden er sket en udvikling af produktiviteten indenfor byggeriet, hvilket må være et udtryk for om man formår at gøre tingene hurtigere og mere effektivt.

En undersøgelse af netop udviklingen i produktiviteten fra 1966 og frem til 2006 har sammenlignet forskellige brancher i Danmark, samt hele økonomien. En grafisk fremstilling af udviklingen kan ses på figur 1.1, der viser, at udviklingen indenfor Byggeri og Anlæg har været beskeden, hvis man sammenligner med de andre brancher, som f.eks. industrien. [1]



Figur 1.1 *Grafen viser udviklingen i produktiviteten i Danmark i perioden 1966-2006. [1]*

Omkring denne undersøgelse skal det dog nævnes, at de forskellige brancher ikke nødvendigvis er startet på samme niveau, men de er alle indekseret til 100 i år 1966. Dette vil sige, at byggebranchen godt kunne være startet på et højere produktivitetsniveau end f.eks industrien, der så til gengæld efterfølgende har formået at skabe en mere markant udvikling af produktiviteten. Grafen viser altså udelukkende udviklingen i produktiviteten indenfor hver enkelt branche fra 1966 og frem, og her ud fra må det konstateres, at Byggeri og Anlæg ikke har formået at skabe den samme udvikling som de øvrige brancher og økonomien generelt. [1]

Tallene bliver ikke bedre, hvis vi ser på, hvordan udviklingen har været indenfor byggebranchen i Danmark set i forhold til vores nabolande. Set over en 30 års periode fra 1970 til 2000 er

[1] Informations- og kommunikationsteknologi

produktiviteten i Danmark steget med 10%, mens den i Sverige, Tyskland og Holland er steget med op til 100%. Dette må siges at være en markant forskel, der kan få stor betydning for den samlede danske byggebranche, hvis ikke man formår at forbedre udviklingen. Denne vurdering bygger bl.a. på at man vha. de fælles europæiske standarder (Eurocodes), har forsøgt at gøre det nemmere for virksomhederne at indgå i byggeprojekter på tværs af landegrænserne. [2]

Ligeledes fastslår en rapport fra år 2000, der omhandler strategiske hovedproblemstillinger for det danske bygge- og boligområde, at produktivitetsudviklingen er stagneret. Samtidig påpeges, at det er nødvendigt at effektivisere byggeriet, hvis indtjeningen og konkurrenceevnen skal øges. [3]

Det må altså konstateres, at fremtidsperspektiverne ikke ser gode ud for det danske byggeri, hvis ikke man formår at lave tiltag, der sætter gang i en produktivitetsudvikling. Ikke nok med at udviklingen skal forbedres, så skal den til stadighed fastholdes for, at vi kan forblive konkurrencedygtige i forhold til vores nabolande.

1.2.1 Snublesten på vejen

Spørgsmålet er så, hvad man skal gøre for at opnå denne effektivisering og udvikling i produktiviteten, så der bliver skabt mere værdi af det udførte arbejde. Der må være nogle faktorer eller forhold, som medfører, at der går en del tid med ting, der ikke er direkte produktive i forhold til byggeprojekterne. I 2005 blev der udarbejdet en såkaldt snublestensanalyse, hvor man registrerede fejl og mangler der nedsatte kvaliteten og produktiviteten af et byggeri. På baggrund af analysen, blev der udarbejdet en rapport, som fastslog en række forhold, der var årsagerne til, at der opstod snublesten:

1. Kommunikation og samarbejde
2. Fejl og svagheder i de projekterende funktioner
3. Mangler omkring arbejdstilrettelæggelse og planlægning af det udførende arbejde
4. Utilstrækkelig brug af projektgennemgange
5. Fejl i udførende funktioner

Disse forhold er med til at forhindre en udvikling af produktiviteten, hvorfor det vil være oplagt at se på, om man kunne gøre noget for at minimere antallet af snublesten. I og med at dette projekt tager sit udgangspunkt i den rådgivende ingeniør, fokuseres der her på, hvad denne kan gøre for at rydde snublesten af vejen. Rapporten peger på følgende mulige indsatsområder i forhold til rollen som rådgiver:

- Der skal mere fokus på projektgranskningen, som skal koordineres mellem de forskellige fagområder
- Byggeprojektet skal i højere grad gennemgås for risikoområder
- Kvalitetsstyringen kan fokusere på disse risikoområder, og herunder kan der laves en kollisionskontrol
- Procedurer omkring projektændringer skal opprioteres, så de følges og ændringerne bliver ført ud i livet

Det vil altså være relevant at se på mulighederne for at anvende værktøjer, der giver bedre betingelser for samarbejdet både mellem de forskelllige fagdiscipliner internt ved en rådgiver og mellem byggeriets parter i øvrigt. Et af disse værktøjer kan være anvendelsen af en 3D-bygningsmodel gennem byggeprocessen. Der er kommet fokus på anvendelsen heraf i forbindelse med initiativet Det Digitale Byggeri (DDB), som blev startet af Erhvervs- og byggestyrelsen i 2003.

[4]

1.3 Det Digitale Byggeri

Med den nævnte problemstilling bliver man nødt til at handle, og på denne baggrund begynder man derfor at fokusere på, om det er muligt at anvende flere IKT-hjælpemidler, til at skabe udvikling i branchen. Dette set ud fra, at det bl.a. er anvendelsen af IT, der har været med til at øge produktiviteten i industrien. Der er selvfølgelig mange andre tiltag og ideer, der kan/skal hjælpe med til at udvikle produktiviteten i bygge- og anlægsbranchen, hvilket der dog ikke er valgt at fokusere på i denne rapport. Et eksempel herpå kunne være ændringer i uddannelserne indenfor branchen.

Selvom det kan være tydeligt for alle parter i byggebranchen, at man er nødt til at handle, kan det være svært at få udviklingen sat i gang. Langt de fleste af disse parter er privatejede virksomheder, som ikke er interesserede i at investere en masse i udviklingen og risikere at disse investeringer viser sig ikke at have den ønskede effekt. Det er derfor nødvendigt at opstille nogle regler og rammer, der tvinger byggeriets parter til at ofre tid og ressourcer på et mere digitaliseret byggeri.

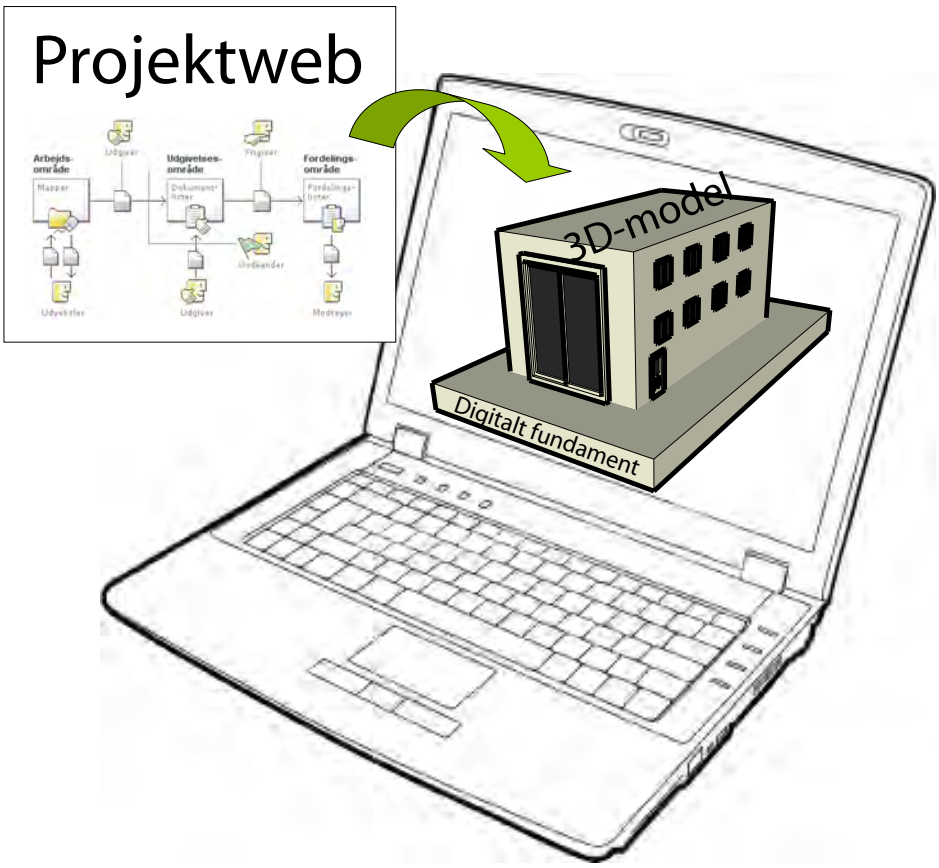
Med denne baggrund blev initiativet Det Digitale Byggeri startet ud fra en konkurrenceevnepakke, *Vækst med vilje*, sat i værk af den daværende regering. I perioden 2003-2006 skulle man forsøge at fastlægge grobunden for en udvikling mod mere og bedre anvendelse af IKT i byggeriet.

Overordnet set ønsker man at anvende en 3D-bygningsmodel, som er opbygget af objekter indeholdende relevante informationer og egenskaber. Denne skal anvendes af de forskellige parter gennem byggeprocessen og opbygges ud fra et digitalt fundament, indeholdende fælles retningslinjer og anvisninger omkring klassifikation og arbejdet med 3D-modeller.

Selve udvekslingen af information mellem byggeriets parter er tiltænkt at skulle foregå gennem et fælles projektweb. Dette er en internetbaseret kommunikationsform, der har til formål at skabe en fælles platform for delingen af dokumenter, beskrivelser, modeller og tegninger mm. mellem de relevante parter i byggeprocessen. Essensen af de beskrevne dele af DDB er illustreret på figur 1.2. Der er tale om en væsentlig forsimpling af Det Digitale Byggeri, hvilket er valgt for at sætte fokus på de dele heraf, der indgår i denne rapport.

For at få denne arbejdsproces ført ud i projekterne, udformedes en række bygherrekrav, som skal opfyldes ved projekter af en vis størrelse[2] og med en statslig bygherre. Kravene er gjort lovpligtige fra 2007, hvilket er en form for milepæl i udviklingen af en mere digitaliseret byggeproces. De digitale bygherrekrav knytter sig til de nævnte 3D-modeller og anvendelsen af projektweb og derudover krav indenfor felterne udbud og tilbud samt digital aflevering. De sidstnævnte felter vil dog ikke blive behandlet yderligere i dette projekt.

[2]Kravene gælder nybyggerier med en byggesum på 3 mio. kr eller derover - kravene om digital aflevering dog kun ved byggerier over 15 mio. kr. Endelig gælder der skærpede 3D krav ved byggerier over 20 mio. kr. Fra 2008 vil kravene også gælde ved renovering og ombygninger. [5]



Figur 1.2 *Simplificeret illustration af Det Digitale Byggeri.*

Det digitale byggeri indeholder, som tidligere nævnt, mere end det, der er præsenteret her. Det foregående skal derfor ses som en introduktion til et centralt område i forhold til indholdet i dette projekt. Derudover er det gennem indledningen blevet fastslået, at der er behov for en udvikling indenfor byggebranchen, samt at man netop forsøger at skabe en sådan gennem DDB. Efter at have kastet boldene i luften, er det nødvendigt at lave en afgrænsning af projektet. Herved præciseres, hvad der vil blive behandlet, og hvad der, grundet ressourcemæssige årsager, ikke er muligt at behandle i dette projekt.

[5] og [6]

1.4 Projektafgrænsning

Det vil, som nævnt, være for stor en opgave at behandle alle aspekter af byggebranchen og samtlige af de involverede parter i byggeprocessen, og derfor er dette projekt afgrænset til at omhandle projekteringen af bærende konstruktioner vha. en 3D-bygningsmodel. Rapporten vil derfor ikke omhandle elementer fra program- og driftsfasen, før i perspektiveringenskapitlet til sidst. Ligeledes er der en lang række aktører i byggeprocessen, som ikke vil blive behandlet, selvom det må forventes, at der er muligheder og behov for udvikling indenfor stort set alle grene af branchen.

I det forrige afsnit blev den del af Det Digitale Byggeri, som vil indgå i dette projekt, præsenteret. Det er her valgt at afgrænse til kun periferert at behandle dele af Det Digitale Fundament og der vil endvidere ikke blive set nærmere på den del, som omhandler "best practice" eksempler. Omkring hele samarbejdsproblematikken kunne man også have behandlet det interne samarbejde mellem fagingeniørene mere i dybden, hvilket der dog ligeledes er afgrænset fra.

En vigtig del af byggeprocessen er valget af entrepriseform, hvilket der dog ikke behandles i denne rapport. Grunden hertil er at problemstillingerne, der behandles i denne rapport, i en vis grad er uafhængige af entrepriseformen, set i forhold til gennemførelsen af byggeprojektet. Det er her valgt at tage udgangspunkt i konstruktionsingeniøren og følgende dele af projekteringsopgaven:

1. Stabilitetsanalyser og dimensioneringer af bærende dele
2. Samarbejde og informationsudveksling mellem den rådgivende ingeniør og den udførende entreprenør

Det nytter ikke noget kun at kunne den ene del, da projekteringsopgaven ikke er udført, før resultaterne er gjort forståelige overfor dem, der skal opføre konstruktionerne. Omkring førstnævnte punkt, vil der i dette projekt blive fokuseret på beton- og stålkonstruktioner.

Ved det andet punkt er det valgt at fokusere på den del af samarbejdet, som omhandler udvekslingen af oplysninger mellem den rågivende og udførende part. Her er det valgt at afgrænse fra at behandle overordnede samarbejdsformer som f.eks. partnering, ligesom det er valgt at begrænse behandlingen af samarbejdet og informationsudvekslingen mellem de øvrige parter i byggeprocessen.

Ved at undersøge dette område forsøger dette projekt at trykke på et af de ømme punkter i byggebranchen. Dette er set ud fra den opfattelse, at man, som ingeniør, er bedre til at arbejde med tal og resultater end til at finde ud af, hvordan vi samarbejder og kommunikerer med hinanden. Her er der selvfølgelig tale om en generalisering, der ikke nødvendigvis gælder hele branchen. Selvom denne generalisering skulle være forkert, er det stadig netop samarbejde og kommunikation, der blev påpeget som den hyppigste årsag til, at der opstod snublesten i følge analysen heraf.

Det fastslås derfor, at en vigtigt del af projekteringsopgaven er, at man formår at videregive oplysningerne til de personer, der skal bruge dem. Afgrænsningen af projektet leder frem til følgende projektramme:

> *Hvordan kan man anvende en 3D-bygningsmodel til projekteringen af bærende konstruktioner, hvor projekteringen både indeholder dimensioneringer og den efterfølgende informationsudveksling mellem den rådgivende ingeniør og den udførende entreprenør.*

Hvordan dette ønskes behandlet, vil blive gennemgået i det efterfølgende metodeafsnit.

1.5 Metode

Dette projekt er opbygget omkring en problemorienteret arbejdsmetode, hvor der tages udgangspunkt i den præsenterede problemstilling. Denne metode kræver, at projektet udspringer af en undren, en antagelse eller et paradoks, som ønskes nærmere bearbejdet. Dette projekt bygger i den forbindelse hovedsageligt på en undren over, at det virker som om, den danske byggebranche mere eller mindre har stået stille rent udviklingsmæssigt, set i forhold til de øvrige brancher og vore nabolande. Ud fra denne undren og via en afgræsning indenfor emnet er den beskrevne projektramme fremkommet. Dette projekt skal herefter munde ud i en afklaring og en række løsningsforslag set i forhold til netop denne projektramme. Dette sker gennem følgende proces:

- Opbygning af baggrundsviden omkring anvendelsen af IKT ved et byggeprojekt
- Undersøgelse af mulighederne omkring integreret projektering af bærende konstruktioner
- Vurdering af de undersøgte muligheder og ændringer i forhold til arbejdsprocessen
- Undersøgelse af gældende praksis og fremtidsmuligheder mht. informationsudvekslingen

For at arbejde sig igennem denne proces anvendes primære og sekundære kilder, hvilket skal give opgaven et så bredt fundament som muligt. Dette set ud fra, at et projekt bliver mere nuanceret, ved at anvende forskellige tilgangsvinkler til arbejdet hermed:

1. Finde ud af hvad andre har gjort gennem litteratur, projektrapporter, publikationer og internetinformationer
2. Finde ud af noget selv ved at udføre forsøg og udarbejde interviews

1.5.1 Informationssøgning

For at opbygge en baggrundsviden om anvendelsen af IT og IKT-værktøjer i byggebranchen, anvendes desk research, hvor man, som navnet henviser til, søger viden og informationer fra sit skrivebord. Hermed menes, at man forsøger at finde relevante rapporter, bøger og lign. der alle omhandler emnet og kan bidrage med relevant viden i forhold til projektet. I denne forbindelse er det vigtigt, at man ikke bare ukritisk indhenter alverdens litteratur og farer vild i internettets uendelige informationsmængde. Derfor skal de anvendte kilder vurderes ved at litteraturens og informationernes pålidelighed ses i forhold til projektets fokusområde.

Kildekritik

Til dette projekt er der hovedsageligt anvendt kilder i form af rapporter eller forskningsresultater, der alle knytter sig til anvendelsen af IT i byggebranchen og anvendelsen af IKT-værktøjer til projekteringen af bærende konstruktioner. Disse rapporter må vurderes som valide, da det er universitetsforskere eller grupper nedsat af erhvervsministeriet, der står bag. Ved hver enkelt kilde skal det vurderes, om forfatteren/afsenderen kan have intentioner om, eller incitament til, at fremmestille tingene på en bestemt måde. Derved kan det være at kilden ikke kan regnes som valid i forhold til at levere et objektivt og retvisende billede. Det er generelt vurderet, at de anvendte kilder er pålidelige og brugbare i forhold til dette projekt.

1.5.2 Undersøgelse af modellers anvendelsesmuligheder

For at anskueliggøre problemstillingerne i forhold til dataoverførsel mellem modeller, udføres tre forsøg. Disse skal give svar på hvorvidt programmerne, der testes, kan anvendes til projektering af bærende konstruktioner ud fra bygningsmodeller. Forsøgene bygger på en hypotetisk deduktiv metode, som kan beskrives således:

1. Opstilling af hypotese og forventninger
2. Observation og/eller udførelse af forsøg
3. Vurdering af resultater sammenholdt med hypotesen og forventningerne

I forhold til de konkrete forsøg i dette projekt, kan metoden beskrives således:

1. Definere forventninger til hvorledes og hvor meget data, der kan overføres mellem de betragtede programmer
2. Udføre forsøget, ved at opbygge en model eller et objekt i et afsenderprogram og observere, hvad der kan føres med over i modtagerprogrammet
3. Sammenholde de funde resultater med forventningerne til forsøget

Forsøget starter altså med, at man har en idé om, hvordan tingene hænger sammen, og hvad der er muligt. Dette afprøves, hvorefter det er muligt at reflektere over, hvorvidt der er overensstemmelse mellem det, man troede og det, som rent faktisk skete eller var muligt. Ved forsøgene, der udføres i dette projekt, arbejdes med to forskellige typer modeller, som er beskrevet i afsnit 2.4. Det konkrete valg af programmer til at håndtere modellerne, er foretaget udfra, hvad der er stillet til rådighed fra universitets side, samt prøve- og studieversioner stillet til rådighed af udbyderne.

1.5.3 Undersøgelse af praksis

Det er vigtigt at komme ud og erfare, hvordan tingene foregår i praksis, hvis man skal have et indblik i status på et område, hvilket er grunden til at der ved dette projekt er foretaget field research. Besøg ved både et rådgivende ingeniørfirma og en entreprenørvirksomhed skal danne baggrund for en beskrivelse af, hvorvidt der arbejdes med 3D-bygningsmodellerne i praksis. Samtidig er det nemmere at se problemstillingerne og udfordringerne indenfor området ved at komme ud og snakke med dem, der arbejder med tingene til daglig.

Det vælges derfor at gennemføre en række interviews med forskellige nøglepersoner ved Rambøll og MT Højgaard. Grunden til at det er netop disse to virksomheder er, at man herved får repræsenteret både den rådgivende side og entreprenørene. Derudover er man ved Rambøll i Aalborg langt fremme indenfor fokusområdet. Valget er faldet på MT Højgaard, fordi det er Danmarks største entreprenørvirksomhed, og vurderes derfor at være repræsentativ for udviklingen i denne del af branchen. Når man er de største, er man både med til at bane vejen for den fremtidige udvikling, men samtidig kan det være vanskeligt at gennemføre ændringer i en stor organisation.

Overordnet set, ønskes følgende opnået gennem de forskellige interviews:

1. En **status** over gældende praksis omkring projektering af bærende konstruktioner og **fremtidsmulighederne** mht. anvendelse af flere IKT-værktøjer, som en integreret del af det daglige projekteringsarbejde.
2. En **status** over hvordan informationsudvekslingen mellem den rådgivende og den udførende part foregår, samt mulighederne for i **fremtiden** at anvende en 3D-bygningsmodel som basis for udvekslingen og samarbejdet.

Svarene fra det første område vil blive anvendt i forbindelse med *del I* i rapporten, mens svarene fra det andet område vil blive anvendt ved *del II*.

Fordelene ved en sådan markundersøgelse via kvalitative interviews er, at det er muligt at stille uddybende spørgsmål i løbet af et interview. Derudover er det muligt at få den umiddelbare reaktion og feedback på spørgsmål og ideer, når man sidder overfor hinanden. Dette vil ikke kunne lade sig gøre i samme grad ved eksempelvis et spørgeskema, hvor spørgsmålene kan misforståes. En af ulemperne ved en sådan kvalitativ undersøgelse er, at man ikke nødvendigvis får et retvisende billede af hele branchen, men derimod en mere personlig vinkel. Dette skal der tages højde for ved anvendelsen af interviews og observationer, hvor det ikke er muligt at komme med generelle konklusioner. Interviewene kan dog bruges til at vise tendenser for status på området og den fremtidige udvikling.

For at få et samlet billede af status omkring anvendelsen af IT i byggebranchen og mulighederne for fremtiden, ville det være nødvendigt at udarbejde en kvantitativ undersøgelse, som kunne være i form af et spørgeskema. Respondenterne skulle være alle aktører, der kan indgå i en byggeproces, hvilket vil sige fra offentlige institutioner over private bygherrer, arkitekter, ingeniører, materialeleverandører, entreprenører og bygningsdriftfirmaer. Dette vil selvfølgelig give et bedre billede, men vil samtidig være alt for stor en opgave set i forhold til dette projekt.

1.6 Rapportens indhold

Efter at have gennemgået problemstillingen i forbindelse med dette projekt, vil formålet med rapportens videre indhold og sammensætning blive konkretiseret i det følgende. Dette skal samtidig ses som en præsentation af den røde tråd.

Rapporten er herefter overordnet opdelt i tre dele, hvor den første omhandler integreret projektering set i forhold til dimensioneringen af bærende konstruktioner, mens den anden del omhandler den efterfølgende informationsudveksling mellem rådgiveren og den udførende part. Den sidste del indeholder en konklusion og perspektiverin som afrunding på projektet. Rapportens opbygning er illustreret på figur 1.3.

Del I - Integreret projektering

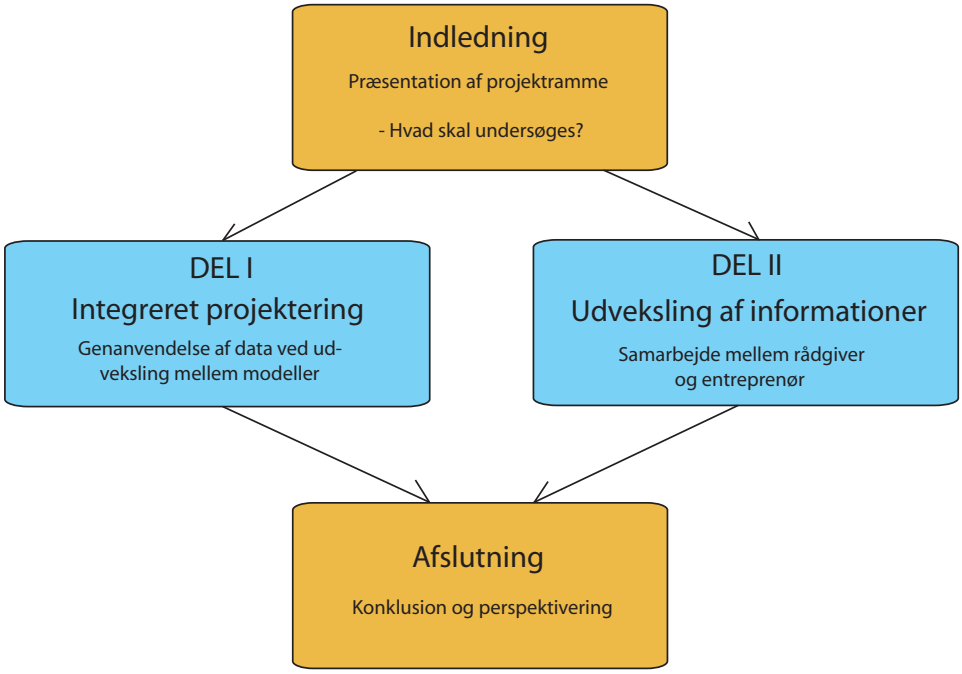
Denne første del starter med et introducerende kapitel, der beskriver baggrunden for arbejdet med bygningsmodeller. Herunder henvises til, hvad andre har fundet ud af, ved at arbejde med dette område. Kapitlerne herefter gennemgår tre forsøg med dataoverførsel, samt en reprojektering af et konkret byggeprojekt. Dette skal fastlægge problemstillingerne og mulighederne i forhold til at gennemføre en integreret projektering. Til sidst i denne første del, er det muligt at lave en delkonklusion over det behandlede.

Del II - Udveksling af informationer

Anden del af rapporten følger op på den gennemførte dimensionering, ved at omhandle en anden del af projekteringen, nemlig samarbejdet og informationsudvekslingen mellem skrivebordet og byggepladsen. Her beskrives hvordan dette foregår i praksis, hvorvidt der anvendes 3D-bygningsmodeller, og hvordan fremtidens muligheder for en samarbejdsform funderet på anvendelsen af en bygningsmodel ser ud.

Del III - Afslutning

Den sidste del af rapporten indeholder to kapitler, hvor det første er en konklusion over det gennemførte projekt, hvor der samles op på den formulerede projektramme. Det efterfølgende kapitel vil afslutningsvis give en perspektivering i forhold til en række fremtidige perspektiver mht. anvendelsen af 3D-bygningsmodeller igennem en byggeproces.



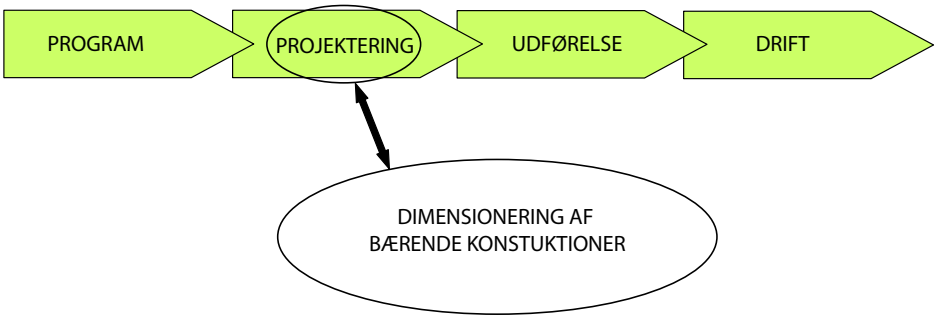
Figur 1.3 *Illustration af rapportens indhold og opbygning.*

Del I

INTEGRERET PROJEKTERING

Introduktion til del I

Denne første del af rapporten omhandler emnet integreret projektering. På figur 1.4 er det præciseret, hvor i den overordnede byggeproces, denne projektering vil foregå. Grunden til at betegnelsen integreret projektering er valgt er, at der er tale om en projekteringsmetode, hvor en vigtig del af dimensioneringen af de bærende konstruktioner er det, at man kan genanvende data, der overføres fra en komponentmodel til en analysemodel og tilbage igen. Altså at der foregår et integreret samspil mellem modellerne som grundlag for dimensioneringen. Her behandles kun den del af projekteringsopgaven, der omhandler dimensioneringen af de bærende dele.



Figur 1.4 *Illustration af byggeprocessen, hvor cirklen markerer, hvor den integrerede projektering vil foregå.*

Den integrerede projektering defineres at indeholde følgende dele:

1. Opbygning af komponentmodel
2. Overførsel af data til analysemodel
3. Tilretning af analysemodel
4. Dimensionering af elementer
5. Overførsel af eventuelle rettelser tilbage til komponentmodel

Ideen med en integreret projektering er, at de programmer, som man anvender til at arbejde med modellerne, skal kunne tale sammen, så man opnår en genanvendelseseffekt, der gerne skulle resultere i et mere effektivt og tidsbesparende projekteringsarbejde af højere kvalitet. Den vigtigste forudsætning for den integrerede projektering er anvendelsen af en bygningsmodel i 3D, hvorfor det herefter gennemgås, hvad der i dette projekt forstås ved en sådan.

Baggrund for arbejdet med en 3D-bygningsmodel

2

Dette kapitel har til formål at belyse baggrunden for det at arbejde med bygningsmodeller, og dermed også baggrunden for at kunne gennemføre en integreret projektering. Det præciseres, hvad der i dette projekt forstås ved en 3D-model samt de to former for modeller, som efterfølgende skal anvendes ved forsøg.

2.1 Building Information Modelling

Dette afsnit skal ses som en grundlæggende introduktion til begrebet BIM, hvordan en model er opbygget, hvad den indeholder og hvilke muligheder, der er i forbindelse hermed. Begrebet BIM dækker over det at modellere en bygning og tilføje en mængde informationer til denne model, og det er derfor et nøglebegreb set i forhold til dette projekt.

Gennem BIM opbygges en virtuel model af den ønskede bygning. Modellen indeholder relevante data, som er vedhæftet de enkelte objekter, og som kan anvendes ved bl.a. produktion og opførsel af bygningsdelene. Anvendelsen af BIM har tre klare formål:

1. Skabe bedre kvalitet i byggeriet
2. Skabe et billigere byggeri
3. Skabe en kortere byggeproces

Som opfølgning på indledningen, omhandlende manglende produktivitetsudvikling, kan man sige, at disse punkter kan være med til at skabe en positiv udvikling af produktiviteten indenfor byggebranchen. Samtidig er det områder, som både bygherre, rådgivere, entreprenør og brugere umiddelbart kun kan se fordele i at arbejde hen imod.

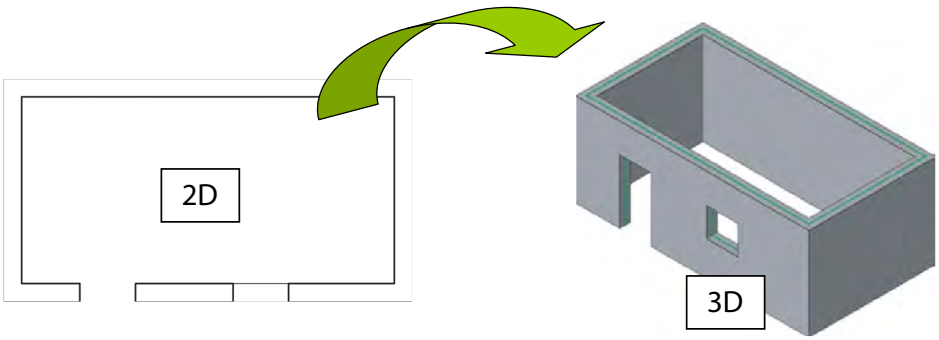
Essensen af BIM kan koges ned til at være det, at der er tale om bygningsmodellering med "intelligente" objekter. Hermed menes, at en bjælke "ved" den er en bjælke, som er tilknyttet en række egenskaber og informationer, og desuden er den klar over, hvilken sammenhæng den indgår i sammen med de øvrige bygningsdele. Arbejdet med BIM vil blive uddybet i anden del af denne rapport.

[7] og [8]

2.2 Hvad forstås ved en 3D-bygningsmodel

Anvendelsen af rummelige 3D-modeller er ikke et nyt fænomen i byggebranchen, hvor arkitekter i mange år har lavet virkelighedstro miniaturemodeller og perspektivtegninger af bygninger. Det nye aspekt i denne sammenhæng er, at man nu kan anvende CAD[1]-programmer til at modellere bygningerne på computer. Hermed er man begyndt at gå fra almindelige papirstegninger i to dimensioner til at udarbejde bygningsmodeller i tre dimensioner.

Gennem de sidste mange år har man udført byggeprojekter, hvor tegningsmaterialet har været baseret på 2D, eksemplificeret ved plantegninger, tværsnit osv. Dette stammer naturligvis tilbage fra dengang man ikke havde andet end papir og blyant, og som følge heraf ikke havde andre muligheder. Som udviklingen er skredet frem, er tegningsarbejdet flyttet over til at foregå vha. CAD–programmer på computer. Analogt hermed er det blevet muligt at lave disse bygningsmodeller, hvor en bygning bliver opbygget af elementer i tre dimensioner, hvor man udover at angive en højde og en bredde også skal angive en dybde. Dette er forsøgt illustreret på figur 2.1.



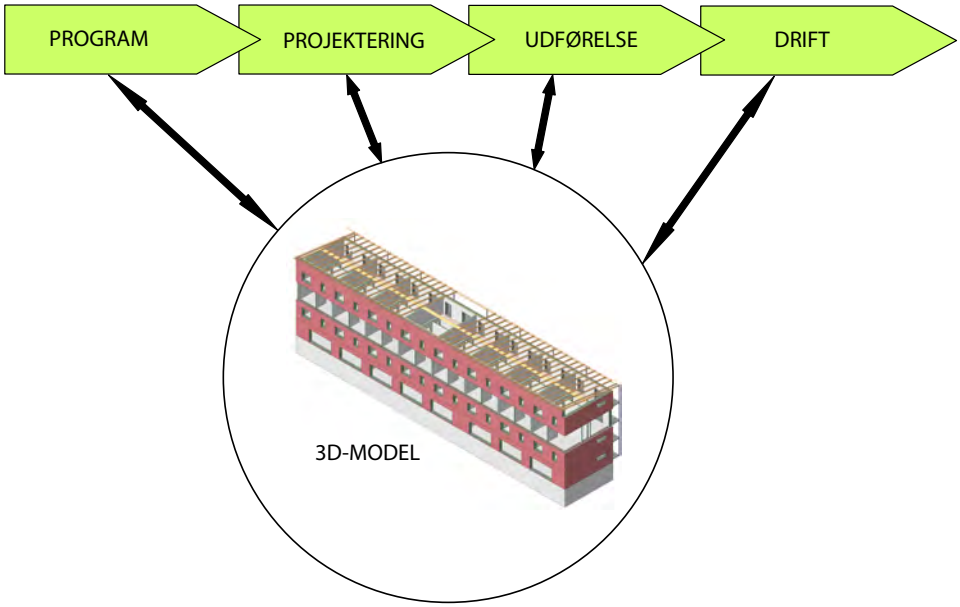
Figur 2.1 *Illustration af forskellen mellem en 2D-tegning og en 3D-model.*

I dette projekt behandles objektorienterede modeller, hvilket der henvises til når der er tale om en bygningsmodel eller en 3D-model. Dette er vigtigt at være opmærksom på, da en objektorienteret model indeholder mere end blot "klodser" i 3D. Modellerne er opbygget af objekter, som tildeles geometriske data, og desuden er det muligt at tildele øvrige oplysninger og egenskaber. Dette kan f.eks være materialedata, sammenhæng med andre objekter mm. Formålet med modellen bliver altså at lave en virtuel gengivelse af, hvordan byggeriet skal være i virkeligheden, hvor der samtidig er samlet så mange relevante data som muligt om de enkelte delelementer.

Den objektorienterede bygningsmodel opbygges af en række kernedata samt fagspecifikke data. Førstnævnte er data, såsom bygningsgeometri, som alle involverede parter i byggeprocessen skal anvende. Derudover kan modellen tilføjes data, der er nødvendige for de enkelte fagligheder. Et eksempel på fagspecifikke data kan være varmetransmissionstal, der skal anvendes til energiberegninger men f.eks. ikke har nogen betydning for de statiske beregninger. Ved at alle parterne tager udgangspunkt i de samme kernedata, skulle man helst kunne undgå nogle af de fejl og misforståelser, der bunder i, at man ikke har et fælles grundlag som basis.

[1]Computer Aided Design

Det er hensigten, at modellen skal kunne anvendes gennem hele byggeprocessen fra den tidlige programfase til at indgå i driftsfasen, hvilket er illustreret på figur 2.2. Dette betyder samtidig, at der er en række forskellige parter, der alle vil skulle anvende bygningsmodellen. I og med at det ikke er de samme ting, som bygherre, arkitekt, rådgiver og entreprenør skal anvende modellen til, opdeles denne i en række niveauer alt efter, hvilke informationer den indeholder. Denne opdeling gør det samtidigt muligt at fastlægge, hvem der har ansvaret for at opbygge de forskellige niveau i modellerne. Det vil normalt være arkitekten, der laver de første, hvorefter den rådgivende ingeniør og eventuelt entreprenøren tager over. Ved at det er den samme model, der anvendes gennem hele byggeprocessen, bliver det muligt at lave en mere glidende eller dynamisk overgang mellem faserne. Dette må antages at kunne udnyttes til at skabe et bedre samarbejde mellem aktørerne i de forskellige faser, samt til at skabe en hurtigere byggeproces.



Figur 2.2 *Illustration af hvordan 3D-bygningsmodellen skal være gennemgående for byggeriets faser.*

For netop at holde styr på hvem, der står for hvad i modellen og samtidig lave en form for klassifikation/identifikation heraf, kan modellen som nævnt opdeles efter et antal niveau. Niveauopdelingen giver samtidig et godt overblik over processen, da det kan ses, hvad denne kommer til at indeholde af forskellige data. Hvorvidt denne niveauinddelingen ønskes anvendt, og hvor omfattende modellen skal være, er op til bygherren. I Det Digitale Byggeri er der arbejdet med en opdeling mellem de forskellige niveau, der til en vis grænse vil være flydende og løbende vil blive revideret afhængigt af det enkelte byggeprojekt og de implicerede aktører.

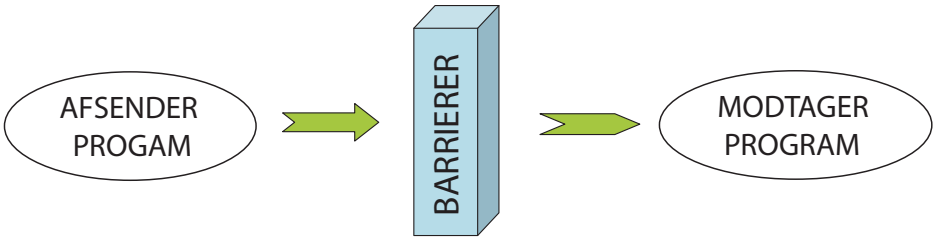
- Niveau 0 - Kravmodel
  - Terrænmodel med omkringliggende bygninger
  - Beskrivelse af bygherrekrav
- Niveau 1 - Volumenmodel
  - Geometrisk udformning af bygningen
- Niveau 2 - Rummodel
  - Nærmere beskrivelse/definition af de enkelte rum vha. bygningsobjekter
- Niveau 3 - Model til forprojekt
  - Geometri og placering af elementer
  - Overordnede funktionskrav
- Niveau 4 - Model til hovedprojekt
  - Mængdefortegnelser og bygningsdelsbeskrivelser
- Niveau 5 - Model til produktionsgrundlag
  - Materialer og leverandører
  - Grundlag for dimensionering af konstruktioner
- Niveau 6 - Som udført model
  - Opdateret model, der stemmer overens med den færdige bygning

Efterhånden som modellen udvikles fra et niveau til det næste tildeles de enkelte objekter flere egenskaber, og det er derfor vigtigt, at der kun arbejdes på én overordnet model. Med udgangspunkt i modellen, kan der udtrækkes data, som anvendes til diverse simuleringer eller dimensioneringer. Her tænkes hovedsageligt på de forskellige ingeniørfagområder, der hver især skal anvende oplysninger omkring bygningens sammenhæng, udseende, materialevalg osv. For at dette kan lade sig gøre, er det en forudsætning, at de programmer, den enkelte ingeniør anvender, kan "snakke sammen" med bygningsmodellen. Dette behandles videre i det følgende afsnit.

[9], [10] og [11]

2.3 Kommunikation via et fælles format

Når det drejer sig om samarbejde og kommunikation mellem to parter, er det nødvendigt at være opmærksom på, at der mellem afsender og modtager ofte forekommer barrierer, som forvrænger eller blokerer for kommunikationen, hvilket er illustreret på figur 2.3. På samme måde, vil der være barrierer i forbindelse med kommunikationen mellem to programmer, så man eventuelt modtager noget andet end det, der blev afsendt.



Figur 2.3 *Illustration af hvordan der optræder barrierer ved kommunikationen mellem to parter eller programmer.*

Det er derfor nødvendigt at identificere disse barrierer og derefter forsøge at nedbryde dem, hvilket der er forsøgt ved at danne en fælles platform/basis for udveksling af data gennem IFC[2]-modeller. I byggebranchen er man enige om, at dette format skal danne baggrund for den fremtidige udvikling, hvilket er en stor fordel, da man hermed kan danne fælles front overfor softwareudviklerne og kræve, at man implementerer muligheder for eksport og import af IFC-modeller i CAD-programmerne.

Bag IFC-formatet står organisationen IAI[3], som er en verdensompændende non-profit organisation, hvilket nok er grunden til at mange ønsker at støtte op om udviklingen af IFC. Dette set ud fra at der ikke er et enkelt firma, der hermed kommer til at bane vejen for udviklingen, ved at det kun er deres lukkede filformat man kan anvende. Ved at have et fælles åbent format kan alle komme på banen med nye ideer og det er dermed nemmere at skabe en mere dynamisk udvikling. For at sælge budskabet omkring brugen af bygningsmodeller og IFC, markedsføres dette nu som buildingSMART, hvilket må være med hensigten at sende den signalværdi, at det netop er "smart".

For bedre at forstå, hvilken rolle den fælles datamodel spiller, kan man drage følgende analogi til fodboldens verden:

> Man har verdens bedste fodboldspillere (programmer) samlet på et hold, men de taler ikke samme sprog og kan derfor ikke snakke sammen og forstår ikke hinanden, hvilket giver dårlige resultater. Man får så en ny træner (IAI), som bibringer et nyt sprog (IFC-modeller), som alle lærer og dermed kan de samarbejde og kommunikere, hvilket resulterer i verdens bedste fodboldhold (byggeprojekt).

Tanken med IFC-modellerne er altså at skabe en grundsten for samarbejdet omkring udvekslingen af data i forhold til at anvende intelligente bygningsmodeller.

[12]

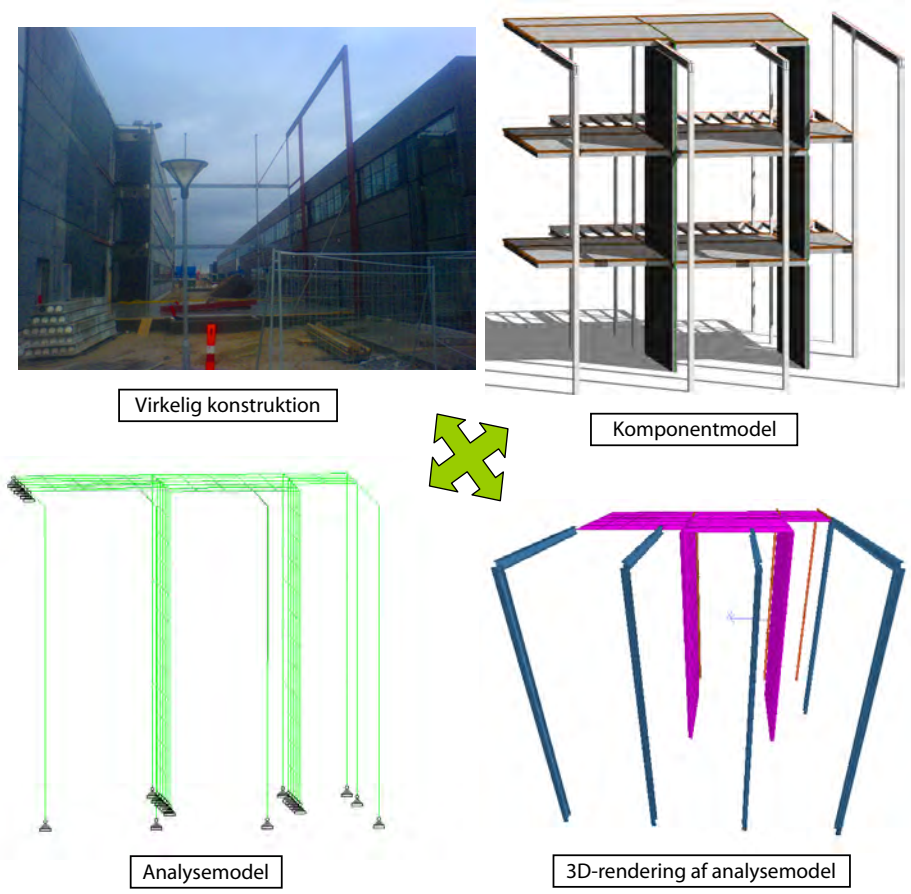
2.4 Modeller

Når man arbejder med at opbygge eller tilrette en 3D-bygningsmodel, er det vigtigt, at man sikrer sammenhæng i modellen, samt at modellen stemmer overens med virkeligheden. Hvis disse kriterier ikke opfyldes, må modellen betragtes som ubrugelig i forhold til projekteringen af bærende konstruktioner. Dette set ud fra at modellen skal anvendes til simuleringer, der skal forudsige virkemåden af de bærende konstruktioner. Hvis baggrunden herfor ikke stemmer

[2]Industry Foundation Classes
[3]International Alliance for Interoperability

overens med den tiltænkte virkelige bygning, er det ikke muligt at lave en troværdig simulering og dermed projektering. På figur 2.4 er det forsøgt illustreret, hvordan der skal være sammenhæng mellem de forskellige modeller og virkeligheden.

Her gives en kort beskrivelse af de to typer modeller, der er vist på figur 2.4, og som senere ønskes anvendt til forsøgene med overførsel af data. Herunder introduceres de programmer, som generelt anvendes til arbejdet med modellerne gennem hele dette projekt. Ved beskrivelserne lægges vægt på egenskaberne omkring projektering af bærende konstruktioner og mulighederne for at overføre data til andre CAD-programmer.



Figur 2.4 *Illustration af at der skal være sammenhæng mellem virkeligheden, komponentmodellen og analysemodellen.*

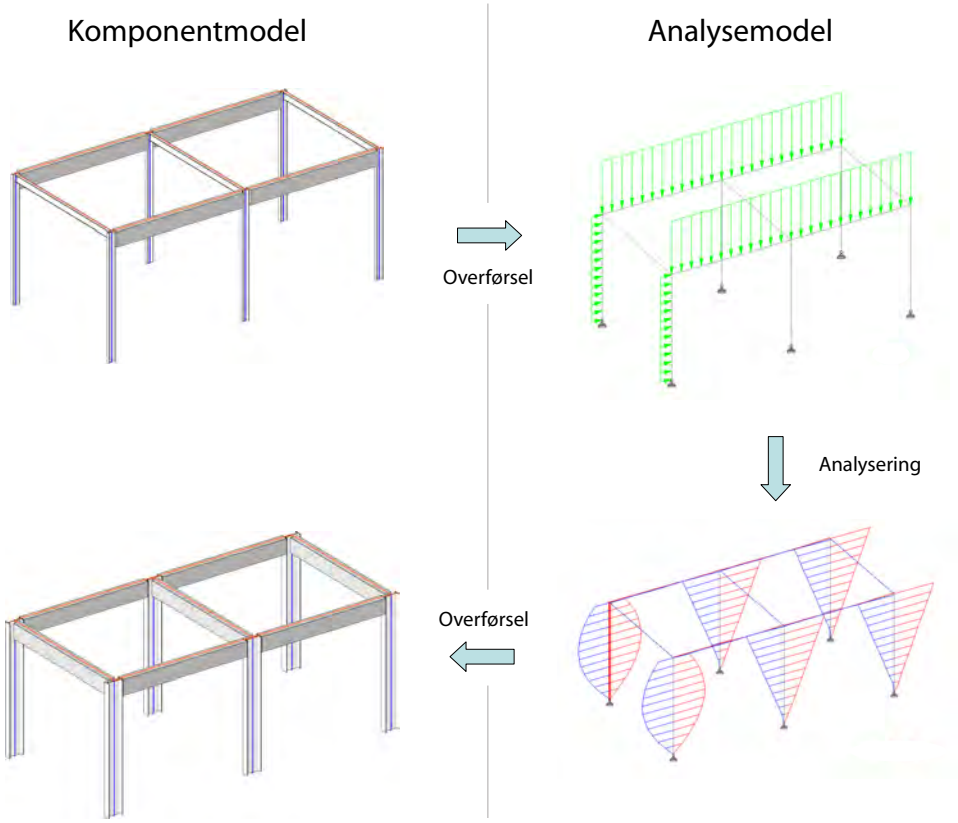
For at undersøge hvorledes det er muligt at få programmerne til at arbejde sammen omkring modellerne, er det nødvendigt at fastlægge, hvad det er for en type modeller, man ønsker at belyse. Her vil der blive tale om følgende to typer:

- En komponentmodel indeholdende objekter/bygningsdele med forskellige egenskaber
- En analytisk model indeholdende statiske, samt last- og styrkemæssige informationer

Programmerne, hvori man arbejder med modellerne, vil både blive betragtet som modtagere og afsendere af data, da det er vigtigt at kommunikationen/overførslen kan gå begge veje.

Grunden hertil er, at det skal være muligt at opbygge en komponentmodel, hvorfra objekterne kan blive dimensioneret vha. en analyse- eller FEM-model. Dette medfører muligvis en tilretning, og det skal så være muligt at flyttet oplysningerne med tilbage til komponentmodellen, hvilket er forsøgt illustreret på figur 2.5.

[13]



Figur 2.5 *Først opbygges komponentmodellen, derefter analyseres de bærende dele og eventuelle rettelser bliver ført med tilbage til udgangspunktet.*

2.4.1 Programmer til opbyggelse af komponentmodellen

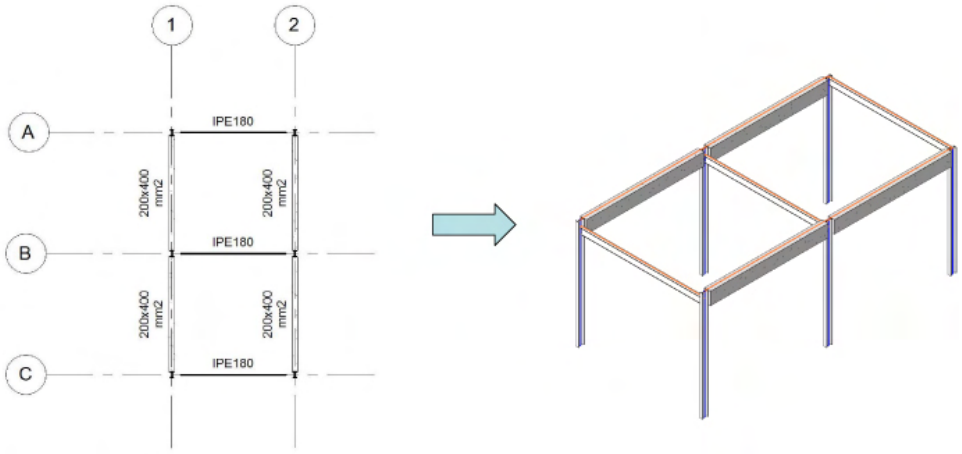
Den rådgivende ingeniør vil enten kunne modtage en færdig komponentmodel fra arkitekten eller en form for underlag, hvorfra rådgiveren selv skal opbygge en model. Til dette kan der vælges mellem forskellige programmer, hvor der bl.a. kan nævnes Revit Structure, Tekla Structure og Bentley Structural. Af disse er der valgt at opbygge komponentmodellerne i Revit. Programmerne anvendes ved rådgivende ingeniørfirmaer i Danmark, og erstatter i stigende omfang traditionelle 2D baserede CAD-programmer, som f.eks. AutoCAD.

Revit Structure 2009

Dette program er udgivet af Autodesk, som også står bag AutoCAD. I programmet er det muligt at opbygge en 3D-bygningsmodel vha. en række forskellige objekter. Samtidig med at man opbygger komponentmodellen, genereres en analytisk model parallelt hermed. I denne er det muligt at påføre laster samt understøtningsforhold til de enkelte elementer og konstruktioner, men det er dog ikke muligt at udføre simuleringer og beregninger. Hermed er det altså

muligt at opbygge begge de øverste modeller på figur 2.5 i ét og samme program. Hvorvidt dette lader sig gøre i virkeligheden, vil der blive kigget nærmere på i det efterfølgende kapitel.

Programmet virker meget brugervenligt og selve opbygningen af komponentmodellen vurderes ikke at burde volde store vanskeligheder, hvis man er vant til at anvende AutoCAD til 2D tegninger. Dette set ud fra at man tegner de forskellige planer i bygningen, hvorefter man går over i en 3D visning og kontrollerer at elementernes højder mm. passer med det forudsatte. Dette er illustreret på figur 2.6.



Figur 2.6 *Først tegnes elementer i et plant 2D view, hvorefter de kan vises/tilrettes i et 3D view.*

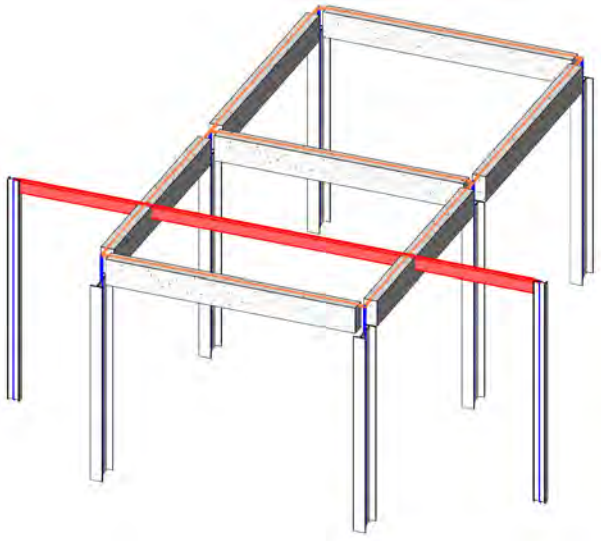
Hvis man ser på de enkelte objekter, er det muligt at pålægge en række egenskaber omkring type, materiale og andre tekniske egenskaber. Vælger man f.eks. at anvende et IPE-profil som en bjælke, kan man angive følgende:

- Længde
- Placering
- Tværsnitsdata
- Rotation
- Materiale
- Varekode
- Leverandør
- Beskrivelse
- Pris
- Endemoment
- Understøtninger
- Virkemåde
- Lastpåvirkninger
- Kommentarer/noter

De sidstnævnte oplysninger omkring endemoment, understøtninger, virkemåde og lastpåvirkninger vil blive pålagt analysemodellen, og vil derfor ikke indgå som en del af den mere visuelle komponentmodel i Revit. Denne opbygges af et varierende antal objekter, som tildeles egenskaber og oplysninger alt efter formålet med modellen.

Komponentmodel visualiserer altså bygningens objekter, som derudover indeholder en mængde information. Den analytiske model i Revit kan overføres til et beregningsprogram for det videre arbejde med simuleringer og beregninger. Det er dog muligt at lave forskellige test i Revit. En af disse undersøger, hvorvidt alle elementer er understøttet, hvorved det hurtigt er muligt at finde frem til eventuelle manglende fundamenter. En anden analyse gennemgår modellen for om der er konsistens mellem komponent- og analysemodellen. Her kontrolleres f.eks., om der er elementer i den analytiske model, som skulle have længden 0, hvilket vil kunne resultere i fejl i den videre anvendelse i et beregningsprogram. Endvidere er det muligt at lave en sammenstødskontrol, hvor programmet undersøger, om der er elementer, som er placeret

oven i hinanden, hvilket er illustreret på figur 2.7. På denne måde har man altså forsøgt at lave nogle tests, som skal hjælpe med at finde eventuelle fejl og mangler ved modellen.



Figur 2.7 *Illustration af et tilfælde, hvor programmet har fundet et sammenstød mellem elementer.*

Fra Revit er det muligt at eksportere bygningsmodellen til en række formater. Et af disse formater er IFC, der som tidligere beskrevet er den type modeller, som man ønsker at anvende til at dele oplysninger/data mellem programmerne. Dermed skulle det være muligt at få Revit til at indgå som en del af den programpakke, man ønsker at anvende til projekteringen af bærende konstruktioner. Hermed er det bestemt ikke sagt, at Revit er det eneste program, som kan dække dette behov, hvilket også er muligt med andre CAD-programmer.

[14]

2.4.2 Programmer til analysemodellen

I forlængelse af arbejdet med at opbygge en komponentmodel, skal nødvendige dimensioner og styrker af modellens elementer fastlægges. Til dette formål anvendes en analysemodel, som enten genereres løbende parallelt med komponentmodellen, som det er tilfældet ved Revit. Ellers kan analysemodellen genereres direkte udfra objekterne og deres sammenhæng i komponentmodellen. Hvis det slet ikke er muligt at generere den analytiske model direkte, er man nødsaget til at opbygge den fra bunden, hvilket vil være en stor ulempe set i forhold til at gennemføre en integreret projektering. Dette set udfra, at en af fordelene herved netop skulle være muligheden for at genbruge de ting, der allerede er lavet én gang.

Ved projekteringen af bærende konstruktioner bliver beregningerne hurtigt komplicerede og uoverskuelige. Dette skyldes flere forhold:

1. Mange laster i forskellige retninger, som kombineres i et antal lasttilfælde
2. Kompliceret bygningsgeometri
3. Anvendelse af forskellige materialer

Det vælges derfor at anvende EDB-programmer, der benytter Finite Element Method (FEM) som beregningsmodel til at analysere virkeligheden. FEM anvendes til at approksimere løs-

ninger til partielle differentialligninger for elementer, som defineres ved knudepunkter med seks frihedsgrader i 3D. FE-metoden deler elementerne ind i mindre stykker, for hvilke der opstilles og nummerisk løses mindre differentiationsproblemer separat. I det følgende beskrives to beregningsprogrammer, der begge anvendes ved rådgivende ingeniørfirmaer til analyser og dimensionering af bærende konstruktioner.

Staad Pro 2007

Dette er et beregningsprogram, der vha. FEM er i stand til at analysere en konstruktion. Ved dette projekt anvendes programmet til at finde snitkræfter, momentpåvirkning, spændinger og deformationer. Programmet har den ulempe, at det ikke kan importere IFC-modeller, hvilket vil sige, at det ikke taler det fælles sprog. Der er dog andre muligheder for at få de to programmer til at samarbejde, bl.a. findes der et tredjepartsprogram fra Structural Integrators (SI), som skal gøre det muligt at overføre modellen fra Revit til Staad Pro, blot ved et enkelt klik. Dette vil blive undersøgt nærmere i de kommende forsøg. [15]

Robot Structural Analysis 2009

Her er der ligeledes tale om et beregningsprogram, som i princippet dækker samme opgave som Staad Pro. Robot, som programmet benævnes, har dog den fordel, at det er muligt at importere IFC-modeller direkte til at opbygge den analysemodellen. Det er derimod ikke muligt at eksportere IFC-modeller, hvilket er en ulempe og en begrænsning for den ønskede to-vejskommunikation. Der findes dog udvidelsespakker til Revit, som skulle gøre det muligt at linke direkte mellem Revit og Robot. Hermed skulle det også være muligt at overføre rettelser fra analysemodellen i Robot til komponentmodellen i Revit. [16]

Efter at have beskrevet de forskellige programmer, er det muligt at undersøge, hvorvidt det er muligt at overføre data mellem disse, hvilket vil blive behandlet i det efterfølgende kapitel.

Dataudveksling

3

Efter at have introduceret begrebet integreret projektering, skal det herefter undersøges, hvad der er muligt i praksis, og hvilke fordele og ulemper der er ved denne projekteringsmetode. Her tages der udgangspunkt i de programmer, der blev beskrevet i forrige kapitel. Desuden inddrages andres erfaringer i forhold til dette område.

For at illustrere problemstillingerne mht. at overføre data mellem de beskrevne programmer, udføres der tre forsøg, hvor der tages udgangspunkt i forskellige former for konstruktioner:

1. En simpel bjælke
2. En tredimensionel rammekonstruktion med stål og beton
3. En organisk buet trækonstruktion med fundamenter

Disse tre forsøg danner grundlaget for at få et indblik i det at projektere ud fra en bygningsmodel. Dette kan både erfares ved at forsøge det selv og ved at undersøge hvad andre har gjort sig af erfaringer. Derefter er det muligt at kommentere på hvilke fordele og ulemper, der er forbundet med denne arbejdsmetode, hvilket vil blive sammenfattet i kapitel 5. Til forsøgene er der udarbejdet en række filer, som alle kan findes på dette projekts internetside.

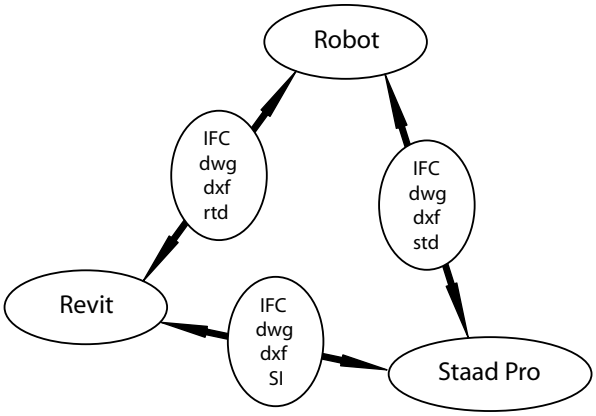
3.1 Forsøg 1 - overførsel af bjælkeprofil

For at undersøge hvilke muligheder, der er for at overføre data mellem de beskrevne programmer, udføres et forsøg, hvor der tages udgangspunkt i et bjælkeprofil. Dette for at holde forsøget på et overskueligt plan, da det ikke er mængden af data, men mere mangfoldigheden af overført data, der ønskes undersøgt. Det er her valgt, kun at undersøge dataoverførsel mellem programmerne Revit, Staad Pro og Robot. Grunden hertil er, at det herudfra er muligt at anskueliggøre problemstillingerne omkring dataudveksling. Desuden har de valgte programmer relevans i forhold til projekteringen ude i virksomhederne. Hermed menes, at det er programmer der enten findes i virksomhederne, eller som de kunne være interesserede i at anskaffe sig. Formålet med forsøg 1 er at give svar på følgende spørgsmål:

Hvilke data fra en simpel bjælke kan overføres frem og tilbage mellem Revit, Staad Pro og Robot?

3.1.1 Beskrivelse af "forsøgsopstilling"

Forsøget har til formål at fastlægge hvilke data, der kan overføres mellem programmerne og hvordan dette lader sig gøre. Bjælken opbygges i hvert af programmerne og derefter eksporteres denne til forskellige formater, som herefter forsøges importeret i de øvrige programmer. På denne måde skabes et overblik over hvorvidt alle egenskaberne kan overføres mellem programmerne. Dette er forsøgt illustreret på figur 3.1.



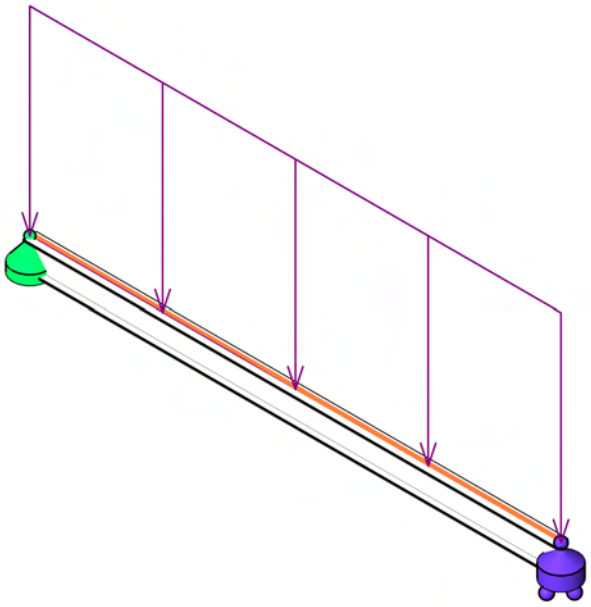
Figur 3.1 *Illustration af "forsøgsopstillingen" ved forsøg 1.*

De respektive modeller eksporteres til en IFC-model og filformaterne dwg og dxf udover programmernes egne formater. Grunden til at dwg- og dxf-filformaterne er medtaget er, at det er den store softwareudvikler Autodesk, der står bag dem. Derudover anvendes et tredjepartsprogram (SI), som skal gøre det muligt at overføre modeller direkte fra Revit til Staad Pro. Endvidere undersøges, hvorvidt det er muligt at overføre modellen direkte fra Revit til Robot vha. en udvidelsespakke.

Bjælken, der undersøges her i det første forsøg, tildeles egenskaber, som vurderes at være vigtige for at kunne anvende overførslen af data i forbindelse med projektering af bærende konstruktioner. Følgende vil være gennemgående for bjælkeprofilet, når det opbygges i de forskellige programmer:

1. Der anvendes et IPE200 stålprofil
2. Længden af bjælken er 4000mm
3. Bjælken er fast-simpel understøttet
4. Bjælken påføres en uniform linjelast på 5kN/m over hele længden

På figur 3.2 ses bjælken modelleret i Revit. Ligeledes modelleres bjælken i de to beregningsprogrammer Staad Pro og Robot.



Figur 3.2 *Forsøgsbjælken modelleret i programmet Revit.*

Omkring overførslerne skal det desuden nævnes, at det også undersøges, hvorvidt programmerne er i stand til at importere en IFC-model tilbage igen. Grunden hertil er, at hvis man skal kunne udveksle oplysningerne herigennem, skal det også være muligt for f.eks. en samarbejdspartner at importere IFC-modellen tilbage til et program og derefter arbejde videre herpå.

3.1.2 Forventninger

Ved udførelsen af dette simple forsøg, anvendes en tabel, der skal give et overblik over, hvilke ting det er muligt at overføre mellem programmerne. De relevante egenskaber er:

- Geometri - G
- Materiale - M
- Profiltype - P
- Last - L
- Koordinatorientering - K
- Understøtninger - U

Som udgangspunkt må en optimistisk forventning gå på, at det kan lade sig gøre at overføre alle egenskaberne. Dette set udfra, at alle egenskaberne er mulige at definere i de tre programmer, hvilket vil sige, at man uden videre kan opbygge elementet fra bunden i programmerne. Man må som minimum forvente, at det er muligt at overføre bjælkens geometri.

3.1.3 Resultater

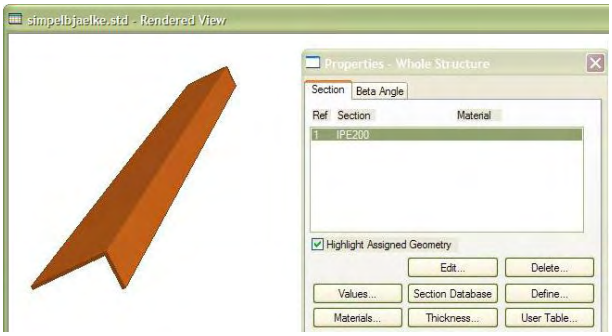
Bogstaverne i tabel 3.1 angiver, hvad det har været muligt at overføre mellem programmerne. Kolonnen til venstre angiver afsenderprogrammet og den øverste række angiver modtagerprogrammet. De fundne resulater vil blive kommenteret yderligere i det efterfølgende.

fra / til	Revit	Staad Pro	Robot
Revit	ifc: GMPK	dxf: GK SI: GMU	rtd: GMP
Staad Pro	-	-	std: GP
Robot	-	-	-

Tabel 3.1 *Oversigt over hvilke egenskaber, det er muligt at overføre mellem programmerne ved forsøg 1.*

3.1.4 Vurdering i forhold til Staad Pro

Udfra tabellen ses det, at det ikke er muligt at anvende filformatet dwg, der oprindeligt er udviklet og "låst" til AutoCAD. Den mest anvendelige valgmulighed er at benytte hjælpeprogrammet fra Structural Integrators, hvormed det er muligt at overføre geometri, materialeegenskaber og understøtningsforhold fra Revit til Staad Pro. Omkring profiltypen sker der det, at man under egenskaber i Staad Pro kan se, at der er tale om et IPE200 profil, men når man så vælger at se profilet i en 3D rendering, vises et L-profil, hvilket er illustreret på figur 3.3. Der sker altså en fejl, hvorfor det må konstateres ikke at være muligt at overføre profiltypen korrekt mellem de to programmer. Dette er samtidig et godt eksempel på de mange småting, som kan gå galt ved udvekslingen mellem programmerne, og det viser samtidig, at man skal være yderst opmærksom og ikke stole blindt på, at det hele bare er iorden. Efter at have udført en analyse i Staad Pro, er det ikke muligt at overføre data tilbage til modelleringsprogrammet Revit og der kan derfor højest blive tale om en en-vejs-overførsel.



Figur 3.3 *Her er vist et skærmbillede, hvor bjælken er flyttet over i programmet Staad Pro. Her er den angivet som IPE200, men vist som et L-profil.*

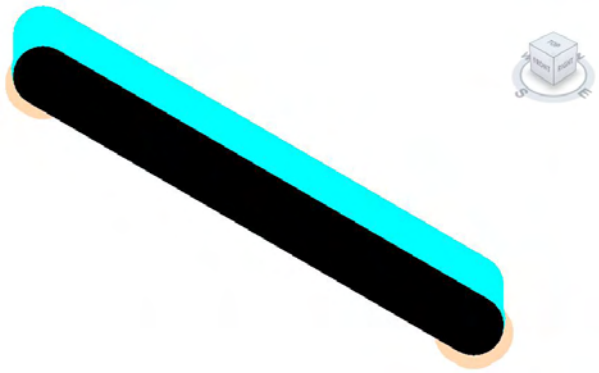
Samarbejdet med Staad Pro levede altså ikke op til den optimistiske forventning om at overføre alle egenskaberne. En af grundene hertil kan være, at Staad Pro ikke er i stand til at importere IFC-modeller. Som nævnt i beskrivelsen heraf, skulle det nemlig være muligt at overføre alle egenskaberne vha. IFC-formatet. Det er derfor nødvendigt at anvende tredjepartsprogrammet, men der går stadigt en del oplysninger tabt, og det vil derfor være nødvendigt at tilrette analysemodellen efter den er kommet over i Staad Pro. På denne måde er det ikke muligt at få det fulde udbytte af det arbejde, der allerede er udført én gang ved opbygningen i Revit.

3.1.5 Vurdering i forhold til Robot

Det er stort set de samme ting, der gør sig gældende ved Robot, som ved Staad Pro. Selvom det skulle være muligt at importere IFC-modeller, lader dette ikke til at være tilfældet, da der ikke vises noget som helst i programmet efter at have åbnet filen. Det er derimod, som nævnt, muligt at installere en tillægspakke til Revit, hvormed man kan gemme modellen, så det er muligt at åbne denne i Robot (som rtd-fil).

Desuden skulle det også være muligt at linke mellem de to programmer, så modellen kunne overføres direkte. Her støder man imidlertid på det problem, at det skal være den gamle udgave af Robot, kaldet Robot Millennium, og ikke den nye kaldet Robot Structural Analysis. Det paradoksale i den sammenhæng er, at Autodesk, der står bag Revit, har opkøbt Robot Millennium, og udgiver det nu som Robot Structural Analysis. Så efter at Robot er kommet ind i samme firma, som programmet det skal samarbejde med, så er det ikke længere lige så nemt. Det må dog formodes, at der hurtigt rettes op på dette fra Autodesks side.

Ud fra dette forsøg er det kun muligt at overføre data fra Revit til Robot, hvilket ligeledes kun resulterer i en mulig en-vejs-overførsel. På figur 3.4 ses resultatet ved at importere en dwg-fil, fra Robot, i Revit. Dette er meget sigende for nogle af de problemer man støder mod ved dataudvekslingen.



Figur 3.4 *Illustration af et skærmbillede fra Revit, der viser bjælken importeret som dwg-fil.*

Resultatet af forsøget viste, at det er muligt at overføre geometri, materiale og profiltype fra Revit og til Robot, hvilket må siges at være de mest væsentlige dele set i forhold til den videre dimensionering. Dette lader sig gøre ved at lave komponentmodellen til en rtd-fil, og det bemærkes samtidig, at det ikke er muligt at anvende en IFC-model til dataoverførslen. Ligesom ved Staad Pro er det efterfølgende nødvendigt at påføre laster mm. i analysemodellen i Robot, hvorefter simuleringer og analyser kan foretages.

Det er ikke muligt at sige, hvilket af de to beregningsprogrammer, der egner sig bedst til samarbejdet ud fra dette simple forsøg, men man må dog forvente, at man på længere sigt vil have mulighed for at linke direkte mellem Revit og den nye udgave af Robot, og dermed få de største fordele ved netop denne kobling. Dette især set udfra, hvis det bliver muligt at foretage ændringer i analysemodellen i Robot, som derefter kan overføres tilbage til komponentmodellen i Revit, så denne ikke skal ændres manuelt.

3.1.6 Opsummering på forsøg 1

Efter at have udført forsøg 1, må det konstateres, at overførslen af data ikke levede op til de optimistiske forventninger. Det er derfor kun muligt at give følgende svar på formålsspørgsmålet, der dog skal underbygges af de beskrevne vurderinger af de to programmer.

> *Hvilke data, fra en simpel bjælke, kan overføres frem og tilbage mellem Revit, Staad Pro og Robot?*
>
> *-Med de anvendte versioner er det muligt at overføre geometri og materialeegenskaber fra Revit til beregningsprogrammerne, men det er ikke muligt at overføre data tilbage til Revit.*

Det vælges herefter at anvende beregningsprogrammet Staad Pro grundet licensmæssige årsager.

3.2 Forsøg 2 - overførsel af rammekonstruktion

Efter at have udført det simple forsøg med overførslen af en enkelt bjælkes data, gennemføres herefter et forsøg, hvor en lidt mere kompliceret konstruktion skal behandles. Her er der tale om en konstruktion i tre dimensioner, hvilket vil sige at det begynder at minde om en 3D-bygningsmodel. Det skal hermed vise sig, hvorvidt det er muligt at overføre en mere kompliceret model fra Revit til Staad Pro.

Det vigtige i dette forsøg er igen programmernes anvendelighed i forbindelse med udvekslingen af dataoplysninger og genbrugseffekten i analysemodellen. Forsøg 2 skal besvare spørgsmålet:

> *Hvor genanvendelig er en 3D-model, der overføres fra Revit til Staad Pro?*

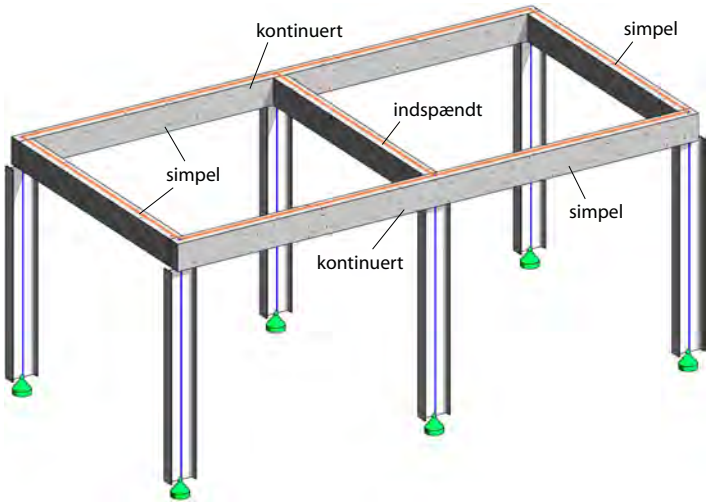
Med genanvendelig menes, hvorvidt de overførte data kan anvendes direkte i analysemodellen, og om der er den rigtige sammenhæng i analysemodellen set i forhold til komponentmodellen. Et eksempel herpå kunne være, om der er indlagt charnier de rigtige steder.

3.2.1 Komponentmodel

Til forsøget opbygges en komponentmodel i Revit, som kan ses på figur 3.5. Det ses at modellen er anvendt til illustrationer tidligere her i rapporten. Denne rammekonstruktion kunne være en del af en større konstruktion, men den er i dette forsøg afgrænset til at bestå af følgende to typer objekter:

- Stålsøjler - IPE400
- Betonbjælker - 400x200mm

Det ses på figuren, at der er valgt forskellige fastholdelser af de forskellige bjælker, og derudover er det valgt at lade de to langsgående betonbjælker være kontinuerte over mellemunderstøtningen. Herudfra er det muligt at vurdere, om der overføres den korrekte sammenhæng til analysemodellen.



Figur 3.5 *Illustration af rammekonstruktionen, der undersøges i forsøg 2.*

I Revit defineres desuden understøtningsforholdene, der vil være en fastunderstøtning for alle seks søjlefødder. Det vælges ikke at påføre lasterne i Revit, da oplysningerne herom ikke kunne overføres til beregningsprogrammet jvf. forsøg 1. Der vil derfor blive tale om dobbeltarbejde ved at skulle påføre dem to gange.

3.2.2 Forventninger

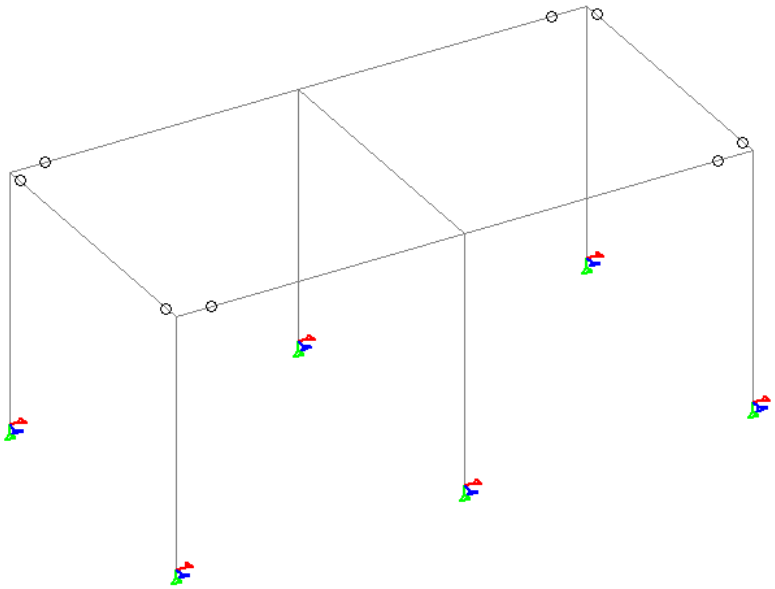
Efter at have opbygget komponentmodellen, ønskes denne overført til Staad Pro vha. tillægsprogrammet fra Structural Integrators. Med de opnåede resultater fra forsøg 1, forventes det, at følgende data kan udveksles mellem programmerne:

- Geometri
- Materialeegenskaber
- Understøtningsforhold

Herudover forventes det, at der automatisk indlægges charnier i bjælkeenderne i overensstemmelse med fastholdelsesforholdene defineret i Revit. Dette vil, som nævnt, sammen med understøtningsforholdene være et udtryk for, hvor robust eller troværdig analysemodellen er.

3.2.3 Resultater

Efter at have været gennem tillægsprogrammet fra SI, er det muligt at undersøge, hvorvidt forventningerne til dataoverførslen er blevet opfyldt. Analysemodellen i Staad Pro kan ses på figur 3.6.



Figur 3.6 *3D-modellen efter den er overført til Staad Pro. Cirklerne angiver, at der er indlagt et charnier.*

Ved en gennemgang af modellen viser det sig, at alle de ønskede egenskaber er blevet overført i analysemodellen. Der er altså tale om den korrekte geometri, rigtige understøtnings- og fastholdelsesforhold og materialeegenskaberne kan også genkendes. Der er indlagt charnier ved bjælkelementerne, hvor dette var forudsat i Revit, hvilket gør, at der er tale om en robust sammenhæng mellem komponent- og analysemodel. Dette betyder, at man ud fra dette forsøgs resultater må kunne stole på, at der er statisk overensstemmelse ved overførsel af data mellem programmerne.

Som næste skridt i arbejdet med projektering i 3D, er det herefter muligt at påføre konstruktionen laster og eftervise bæreevnekapacitet og deformationer af elementerne, hvilket dog ikke vil blive gjort som en del af forsøg 2. Efter at have resultaterne for forsøg 2, er det hermed muligt at svare på formålsspørgsmålet:

Hvor genanvendelig er en 3D-model, der overføres fra Revit til Staad Pro?

-Det er muligt at genanvende oplysninger om geometri, materialeegenskaber og understøtningsforhold ved en overførsel fra Revit til Staad Pro. Det er desuden muligt at sikre en robust sammenhæng mellem komponent- og analysemodellen.

Hvor dette forsøg har undersøgt en geometrisk simpel konstruktion bestående af stål og beton, vil det næste forsøg undersøge en mere organisk formet trækonstruktion.

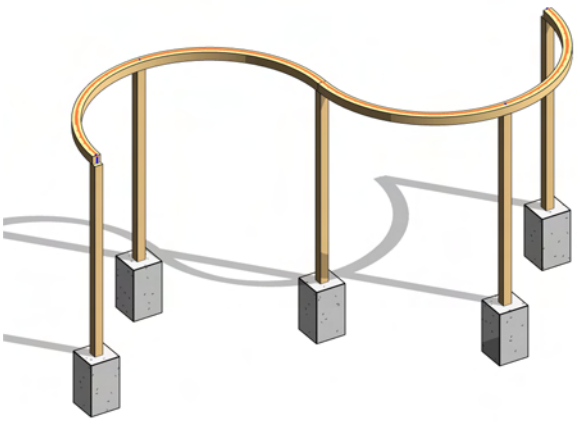
3.3 Forsøg 3 - overførsel af buet trækonstruktion

Det er nu blevet tid til at betragte en konstruktion opbygget af træelementer og med mere organiske former. Formålet med dette forsøg er, analogt med de øvrige, at præsentere nogle af de problemstillinger, der er forbundet med dataoverførslen. Forsøg 3 skal besvare spørgsmålet:

> *Hvor genanvendelig er en 3D-model af en organisk formet trækonstruktion med punktfundamenter, der overføres fra Revit til Staad Pro?*

3.3.1 Komponentmodel

Ligesom ved de øvrige forsøg opbygges her en komponentmodel i Revit, som kan ses på figur 3.7. Der er som nævnt tale om en trækonstruktion, der består af to sammensatte buede bjælker understøttet af fem søjler. De to halvcirkler danner tilsammen en spejlvendt S-form. Derudover er der modelleret punktfundamenter under søjlerne.



Figur 3.7 *Illustration af et skærmbillede fra Revit, som viser trækonstruktionen, der undersøges i forsøg 3.*

3.3.2 Forventninger

Der anvendes samme overførselsmetode som ved forsøg 2, og det forventes derfor, at følgende data kan udveksles mellem programmerne:

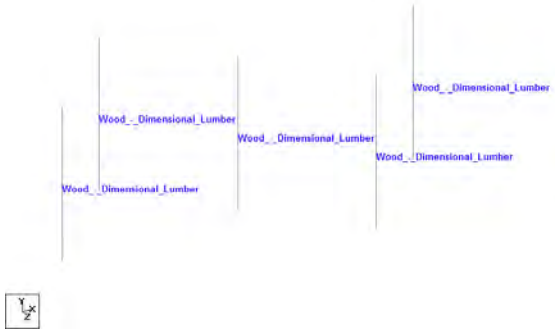
- Geometri
- Materialeegenskaber

Der er ikke defineret understøtningsforhold i den analytiske model i Revit, men da der er placeret betonfundamenter under søjlerne, må det forventes at disse føres med over i Staad Pro.

Ved forsøg 2 var der tale om en robust sammenhæng mellem modellerne, og det må derfor også forventes at være gældende for denne konstruktion, hvilket vil blive vurderet ud fra bjælkernes og søjlernes fastholdelse.

3.3.3 Resultater

Analogt med de to andre forsøg anvendes tillægsprogrammet fra SI som bindeled mellem Revit og Staad Pro. På figur 3.8 ses elementerne, der er kommet med over i beregningsprogrammet. Det har altså ikke været muligt hverken at overføre de buede bjælker eller fundamenterne. Staad Pro genkender træmaterialet, som værende isotropt, hvilket er forkert, og det kan resultere i dimensioneringsfejl.



Figur 3.8 *Illustration af trækonstruktionen, der undersøges i forsøg 3.*

Det er altså kun lykkedes at overføre geometriske oplysninger omkring søjlerne korrekt, og det er samtidig ikke muligt at vurdere på sammenhængen i modellen, da man ikke kan tale om en sådan med fem enkeltstående søjler.

Til en opsummering, kan gives følgende svar på formålsspørgsmålet for forsøg 3:

> *Hvor genanvendelig er en 3D-model af en organisk formet trækonstruktion med punktfundamenter, der overføres fra Revit til Staad Pro?*
>
> *-Det er ikke muligt at overføre buede bjælker og man kan ikke anvende materialeegenskaberne for træ. Denne modeloverførsel må konstateres at være meget ringe i forhold til genanvendelighed.*

3.4 Opsummering på forsøg

Efter at have udført disse tre forsøg er det muligt at sammenfatte, hvad der herudfra er muligt i forhold til at dimensionere bærende konstruktioner vha. integreret projektering. Denne integrering er hovedsageligt undersøgt mellem programmerne Revit og Staad Pro. Det er erfaret, at det er muligt at overføre en models retlinjede geometri, hvorimod det ikke er muligt at overføre buede bjælker.

Omkring materialer er det muligt at overføre egenskaber for stål og beton, men ved begge dele skal man kontrollere, om det er de rigtige materialedata, der anvendes i Staad Pro. Det ene forsøg viste, at det ikke er muligt at overføre data omkring træmaterialer korrekt, hvilket man skal være yderst opmærksom på ved en dimensionering, da Staad Pro godt kan kende materialet som træ, men angiver det som et isotropt materiale.

Det er desværre heller ikke muligt at overføre punktfundamenter, men det er dog muligt at definere analytiske understøtningsforhold i Revit og føre disse med over i Staad Pro. Endvidere må det konstateres, at det ikke er muligt at overføre oplysninger fra analysmodellen tilbage til komponentmodellen.

Den erfarede viden fra disse forsøg sammenholdes med, hvad andre har fundet ud af ved lignende undersøgelser indenfor det samme område.

3.5 Andres erfaringer

Det er klart, at de udførte forsøg i dette projekt ikke er fuldstændigt beskrivende for den generelle status indenfor dette felt, og det er derfor vigtigt at supplere egne forsøgsresultater med andres. På denne måde opnås et bredere grundlag for at kunne vurdere, hvorledes mulighederne for overførsel og udveksling af data i virkeligheden er.

Rapport om CAD-udveksling

Organisationen bips gennemførte i 2005 en undersøgelse af, hvorvidt der kunne udveksles data mellem 19 forskellige CAD- og projekteringsprogrammer. Det vil derfor være naturligt at inddrage resultaterne herfra, da det lige præcis er dette, der ønskes belyst i denne del af rapporten. Testen skal ses som et øjebliksbillede, og den er samtidig en opdatering i forhold til en tidligere test fra 2003. Man forsøgte både at udveksle data bygget på 2D og 3D samt både geometri og bygningsobjekter. Derudover udførtes kollissionskontrol vha. programmet NavisWorks. De vigtigste resultater fra testen er følgende:

- Udvekslingen af 2D-geometri i dwg-formatet forløb uden større problemer
- Udvekslingen af 3D-geometri i dwg-formatet fungerer næsten på højde med 2D
- Udveksling af byggeobjekter i forskellige formater fungerer ikke tilfredsstillende
- Udveksling af byggeobjekter i IFC-formatet går den rigtige vej, men softwarehusenes implementering af IFC er endnu ikke tilfredsstillende
- Kollisionkontrollen mellem 3D-modeller fungerer udemærket

Rapporten konkluderer samtidig, at der er sket store fremskridt siden 2003, og man må selvfølgelig forvente, at denne udvikling er fortsat i positiv retning mod et bedre og nemmere samarbejde mellem programmerne. Sammenholdes dette med de udførte forsøg er det dog svært at fastslå, at der skulle være sket en væsentlig forbedring i forhold hertil.

Undersøgelsen omhandler desuden et vigtigt dilemma, nemlig hvilket hensyn man skal lægge størst vægt på ved de strategiske valg i forhold til den fremtidige udvilking indenfor CAD-programmerne og projekteringen. Spørgsmålet er om der skal lægges størst vægt på værktøjer, som sikrer en god produktivitet, ved at de er specielt egnede til det enkelte fagområde. Eller om man skal vælge at prioritere mulighederne for at kunne udveksle modeller med samarbejdspartnere og drage nytte heraf. Det er klart at den optimale situation ikke er en "enten eller" men istedet en "både og", hvor man kan anvende IKT-værktøjer, der både er udviklede til de fagspecifikke opgaver, og som samtidig kan indgå gnidningsløst i et CAD-samarbejde, hvor modeller frit kan udveksles mellem byggeriets parter og anvendes i disses forskellige programmer.

[17]

Eftersom undersøgelsen blev gennemført første gang i 2003 og så igen i 2005 kunne man forvente og håbe, at den snart ville blive gentaget. Dette for at udbygge kendskabet til mulighederne og derved opnå en større tryghed blandt virksomhederne i branchen i forbindelse med at investere i nye programmer. Det er forståeligt at man i byggebranchen kan være i tvivl om hvilke programmer, der skal satses på, nu hvor AutoCAD ikke længere er det normale og naturlige valg. Af denne grund vurderes de mange rapporter omkring erfaringsopsamlinger og lignende at hæve en stor betydning for beslutninger i forhold til f.eks. valg af programmer og øvrige investeringern, da det er nødvendigt at lære af hinandens fejl og erfaringer ved at dele den opnåede viden indenfor området.

Projektrapport

To studerende fra DTU-BYG udarbejdede i foråret 2007 en rapport med titlen: "The use of 3D and BIM technology for structural analysis and design". Her fremlægger de resultaterne af interviews med en række relevante aktører omhandlende projektering af konstruktioner. Denne rapporter påpeger, at stort set ingen af de adspurgte anvender integreret design, som er synonym med integreret projektering. Det er en anden måde at udtrykke arbejdsgangen, hvor man opbygger en komponentmodel, som derefter udveksles med et analyseprogram for videre dimensionering. Det nævnes dog, at de projekterende alle ser en fremtid i anvendelsen af 3D-modeller, og der ses en tendens til, at man helst ønsker en direkte kobling mellem programmerne udenom IFC-formatet.

Rapporten påpeger de IT-tekniske aspekter, som den umiddelbart største barriere, som man støder mod ved at skulle anvende 3D-bygningsmodellering. Det er klart, at det er nemmere, at få folk til at anvende et værktøj, hvis det er gennemprøvet, virker tilfredsstillende og dermed ikke bliver en meromkostning på byggeprojekterne.

De gennemførte forsøg viste, at det i nogen grad er muligt at genanvende data ved en integreret projektering, sålænge der er tale om beton- og stålelementer placeret i en retlinjet geometri. Dette vil blive forsøgt i næste kapitel, der omhandler en virkelig konstruktion, som ønskes reprojekteret.

Byggeprojekt - Siemens Wind Power

4

Dette kapitel omhandler en reprojektering af et konkret byggeprojekt, hvor det ønskes at udnytte mulighederne, fundet ved de beskrevne forsøg, mht. anvendelsen af en 3D-bygningsmodel. Herigennem gennemføres en stabilitetsanalyse samt en dimensionering af stålelementer.

4.1 Præsentation af byggeprojekt

For at gøre dette projekt så virkelighedstro som muligt, tages der her udgangspunkt i et konkret byggeprojekt, der allerede er projekteret på traditionel vis[1]. Byggeprojektet omfatter en tilbygning i form af en administrationsbygning til vindmøllefabrikken Siemens Wind Power, der er placeret i den østlige del af Aalborg. Teamet, der blev sammensat til at gennemføre byggeprojektet, består af arkitektfirmaet Bjørk og Maigård, det rådgivende ingeniørfirma Grontmij | Carl Bro og entreprenørfirmaet A. Enggaard. I skrivende stund er råhuset til selve administrationsbygningen ved at være færdiggjort, og sammenbygningerne mellem den nye og den gamle bygning er ligeledes ved at være opført.

I forhold til dette projekt gennemføres en reprojekteringen af den sammenbygning, der udgør det nye indgangsparti til fabrikken. Et foto, taget under opførelsen af bygningen, kan ses på figur 4.1.

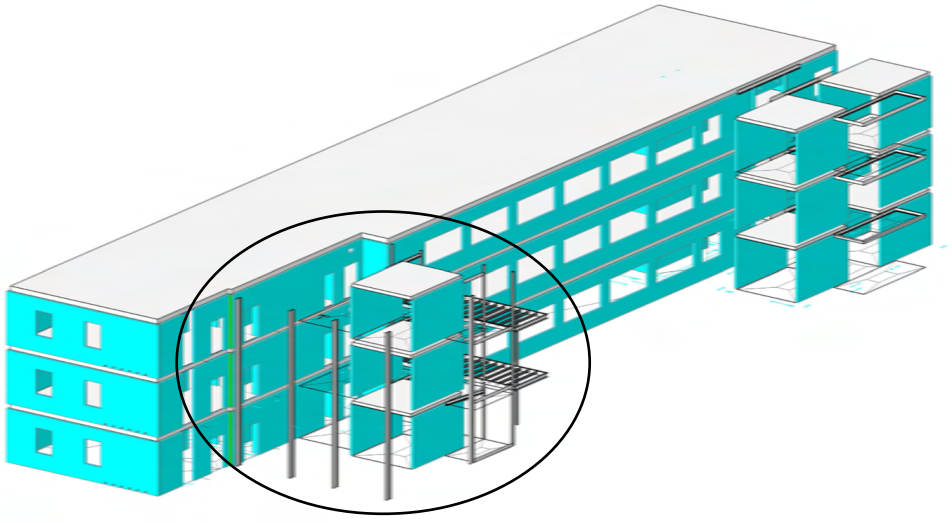
Ved reprojekteringen tages udgangspunkt i, at arkitekten har udarbejdet en række tegninger i 2D, der viser, hvordan bygningen skal se ud. Med disse tegninger som underlag, gennemføres her en integreret projektering, hvor der anvendes en 3D-bygningsmodel som udgangspunkt for dimensioneringen. Denne metode adskillelser sig væsentligt fra den virkelige traditionelle projekteringproces, hvorfor denne reprojektering skal ses som en undersøgelse af, hvordan processen kunne være forløbet, hvis der blev anvendt en bygningsmodel. Det er altså tale om en helt anden arbejdsmetode i forhold til den gennemførte projekteringsopgave, og efter reprojekteringen er gennemført, vil det være muligt at svare på følgende spørgsmål:

Hvilke styrker, svagheder, muligheder og barrierer er der ved en integreret projektering, der gennemføres som en reprojektering af et konkret byggeprojekt?

[1] Denne projektering er gennemført ved mit praktikforløb som konstruktionsingeniør ved Byggeriafdelingen hos Grontmij | Carl Bro i Aalborg

Figur 4.1 *Foto af det nye indgangsparti under opførelsen.*

Der vil selvfølgelig være tale om en reprojektering, som anvender de muligheder, der findes til dato, hvorfor der ikke vil blive tale om en fuldstændig integreret projektering. Projekteringen afgrænses til at omhandle indgangspartiet, der er markeret med en cirkel på figur 4.2. Den viste model er lavet ud fra arkitektens oplæg til de bærende konstruktioner. Dette oplæg bunder i en række skitseprojekteringer og skønsdimensioner, hvilket vil sige, at dimensionerne på de enkelte elementer i vid udstrækning bunder i erfaringsmæssige vurderinger.



Figur 4.2 *Illustration af den nye administrationsbygning, hvor sammenbygningen er markeret.*

Denne form for integreret projektering vil, som tidligere beskrevet, tage sit udgangspunkt i en bygningsmodel og gennemgå følgende proces, der efterfølgende vil blive beskrevet nærmere:

1. Opbygning af komponentmodel
2. Overførsel af data til analysemodel
3. Tilretning af analysemodel
4. Stabilitetsanalyse af den samlede konstruktion
5. Dimensionering af stålelementer
6. Muligvis tilretning af komponentmodel

I forhold til den integrerede projektering oplyste konstruktionsingeniøren Niels Risgaard Hansen gennem et interview, at man ved Rambøll i Aalborg opbygger bygningsmodellerne i programmet Tekla, og man har i den sammenhæng forsøgt at eksportere modellen til Robot. Dette gøres dog ikke i det daglige arbejde, grundet at der kommer for mange oplysninger og detaljer med over i analysemodellen, hvormed modellen bliver for uoverskuelig. Man opbygger derfor en model med komponenter i Tekla og sideløbende en analysemodel til dimensioneringen. I forhold til det oplyste vil denne reprojektering undersøge mulighederne ved at koble Revit og Staad Pro. [18]

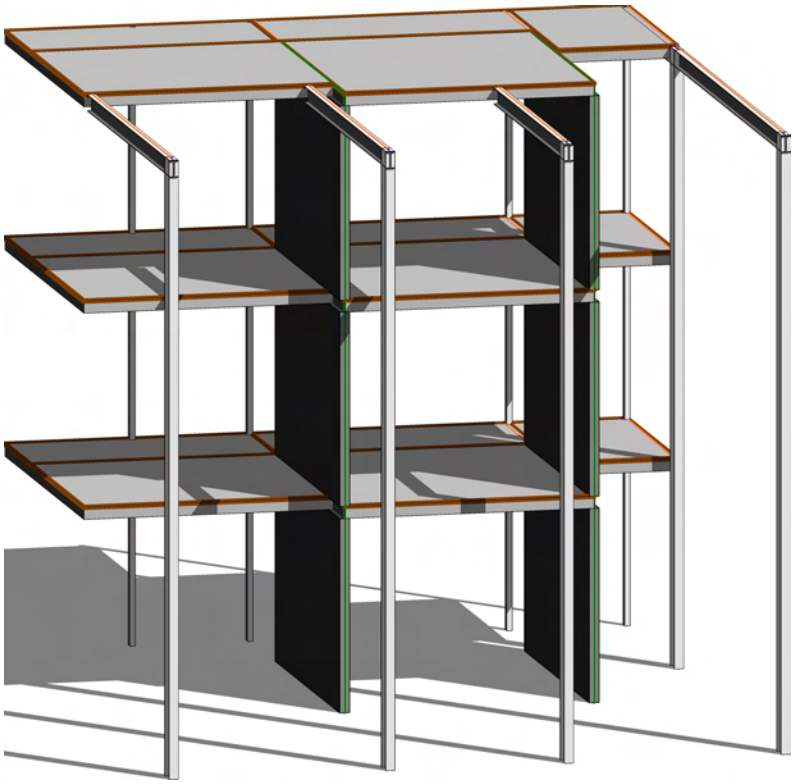
4.2 Opbygning af komponentmodel

Første skridt på vejen til at kunne gennemføre en integreret projektering er opbygningen af komponentmodellen. Dette gøres med arkitekstens tegninger som underlag. Inden dette er muligt skal man først have et kendskab til opbygningen og sammenhængen i konstruktionen. Dette skyldes, at komponentmodellen skal være en så tro kopi af den virkelige konstruktion som muligt.

4.2.1 Forudsætninger for den bærende konstruktion

Indgangspartiet er opbygget omkring en stabiliserende møderumskerne og en række stålprofiler samt betondæk. Der placeres fire stålsøjler ved den ene facade, mens den anden er opdelt i tre etager, men ligeledes med fire gennemgående søjler. Møderumskernen opbygges af betonelementer, ligesom det er betondæk, der udgør gangforbindelserne mellem den eksisterende og den nye bygning. Disse dæk har vederlag på L-profiler, der placeres enkeltvis eller ryg-mod-ryg.

Derudover indeholder sammenbygningen to balkonner opbygget af stålrammer med understøttende søjler, hvilket dog ikke vil blive dimensioneret i denne projektering, da de ikke har noget med den samlede stabilitet at gøre. Dimensioneringen heraf kan gennemføres analogt med dimensioneringen af de øvrige stålelementer. På figur 4.3 ses komponentmodellen for den bærende konstruktion, der ønskes overført til Staad Pro for nærmere analysering. Denne komponentmodel kan også findes på dette projekts internetside. På figuren er den eksisterende og den nye bygning ikke medtaget, men disse er i virkeligheden placeret hhv. til højre og venstre for modellen.

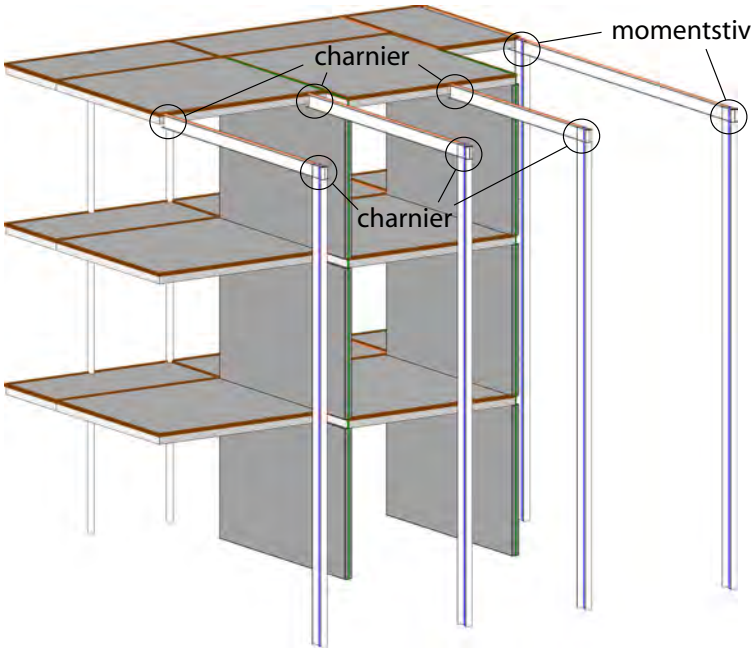


Figur 4.3 *Illustration af den bærende konstruktion i sammenbygningen.*

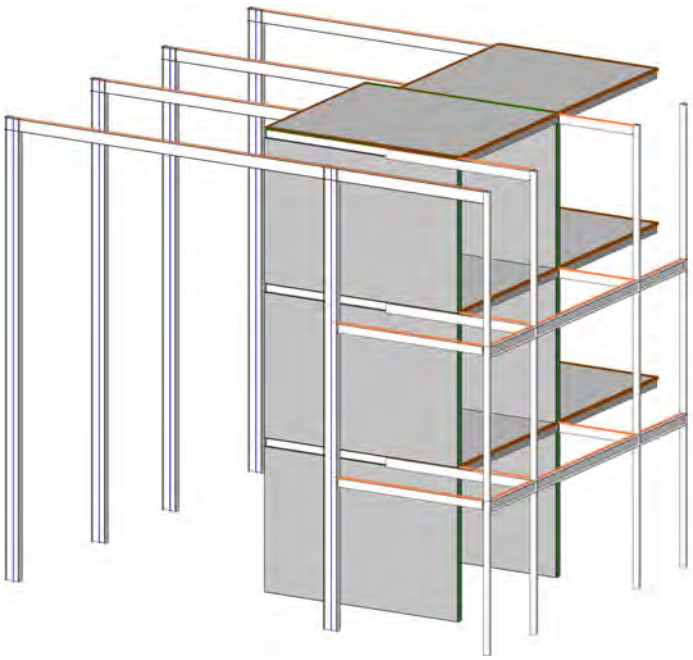
Noget af det vigtigste for at lave en korrekt dimensionering er fastlæggelsen af den statiske virkemåde. Det blev vist ved forsøg 2, at det er muligt at opnå en robust sammenhæng mellem modellerne ved overførslen. Elementernes fastholdelse, sammenhæng og understøtningsforhold vil derfor blive defineret i komponentmodellen. Man kunne også vælge først at gøre det ved analysemodellen i Staad Pro, men det ønskes at pålægge så mange oplysninger som muligt til komponentmodellen. Grunden hertil er, at det er denne, som skal være grundlaget for byggeprojektet gennem hele byggeprocessen.

For at gøre det mere overskueligt, betragtes modellen fra to sider, benævnt for- og bagsiden. På figur 4.4 ses, hvordan elementerne ved indgangssiden, kaldet forsiden, hænger sammen. Alle søjlerne har en fast understøtning ved foden. Lasterne fordeles ind til den stabiliserende kerne gennem stålsøjler og -bjælker, samt betondæk.

Ved bagsiden af modellen findes en gang, der forbinder de to bygninger og udgøres af betondæk. Heromkring opbygges et stålskelet af bjælker og søjler. Modellens bagside kan ses på figur 4.5, hvor der dog ikke er angivet, at der er charnier ved alle samlingerne. Søjlerne regnes som gennemgående i hele bygningens højde og har ved denne side ligeledes en fast understøtning ved foden. Betondækkene, der udgør gangforbindelsen, er fjernet, for at man kan se stålelementerne. Efter at have defineret sammenhængen i konstruktionen, skal komponentmodellen nu overføres til Staad Pro.



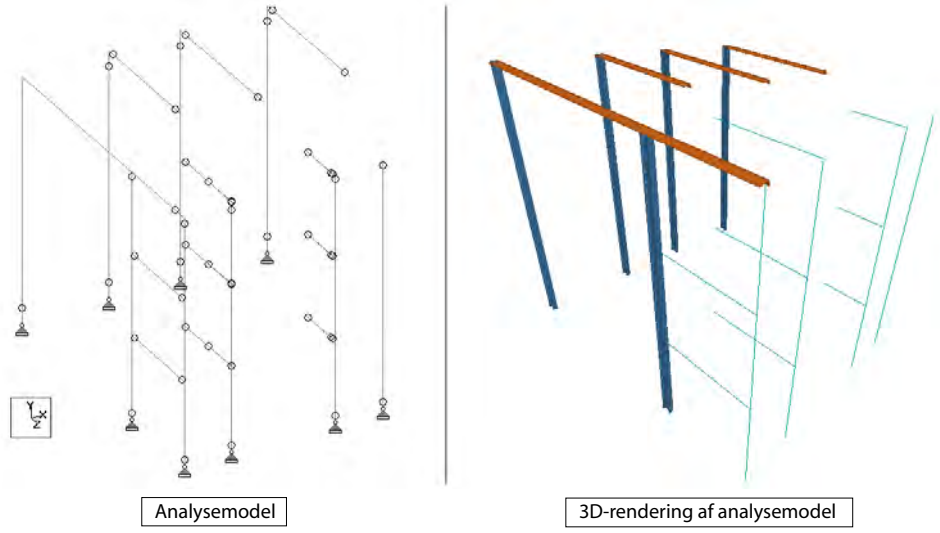
Figur 4.4 *Illustration af forsiden af modellen hvor der er placeret stålsøjler og -bjælker, der begge udgøres af I-profiler.*



Figur 4.5 *Illustration af bagsiden af modellen hvor der opbygges et stålskelet.*

4.2.2 Overførsel af data til analysemodel

Ligesom det er gjort ved de tre indledende forsøg i kapitel 3, anvendes igen tredjepartsprogrammet SI til at kæde de to programmer, Revit og Staad Pro, sammen. Den overførte analysemodel kan ses på figur 4.6.



Figur 4.6 *Til venstre ses analysemodellen efter den er overført fra komponentmodellen i Revit, mens der til højre er genereret en 3D-rendering af modellen i Staad Pro.*

4.3 Tilretning af analysemodel

Det fremgår af figur 4.6, at det ikke er muligt at overføre betonvægge og -dæk, da der kun optræder stålelementer i analysemodellen. Derudover sker der en fejl med de vandrette IPE-bjælker, der skal defineres som de profiler, de i virkeligheden er. Ligeledes skal øvrige stålelementer samt betonvægge og -dæk defineres i Staad Pro.

Der kan løbende genereres en 3D rendering af analysemodellen, hvormed det er muligt at se om det er de korrekte elementer, der indgår, og om disse har den korrekte orientering. Denne renderingsmodel har kun visuelle egenskaber. Inden det er muligt at gennemføre analyser og simuleringer af analysemodellen i Staad Pro, er det nødvendigt at tilrette denne, så den stemmer overens med forudsætningerne herfor. Forudsætningerne er fastlagt ud fra den virkelige og ønskede konstruktion, som bl.a. fastlægger understøttelsesforhold, materialevalg og statisk sammenhæng.

For at kunne udføre troværdige eftervisninger af den bærende konstruktion, er det nødvendigt at analysemodellen så vidt muligt stemmer overens med den virkelige konstruktion. Dette er afhængigt af, hvorvidt komponentmodellen stemmer overens den virkelige konstruktion, hvilket understreger betydningen heraf. Det er ikke muligt at medtage alle forhold ved analysemodellen og der foretages derfor en række antagelser og forenklinger, som gør arbejdet med analysemodellen nemmere. Det er klart, at disse ting ikke må resultere i, at de udførte beregninger og simuleringer ikke længere er repræsentive for konstruktionens virkelige opførsel.

Overordnet set er det en vigtig forudsætning at fastlægge, hvilket normsæt, der regnes efter. Denne reprojektering vil anvende de danske 1998-normer, som det også har været tilfældet

ved den "virkelige" projektering. Det er desværre ikke muligt at vælge de danske normer som grundlaget i Staad Pro, hvorfor her vælges de europæiske normer. Dette har dog ingen betydning, når de forskellige oplysninger, der skal angives, alle har grundlag i 1998-normerne.

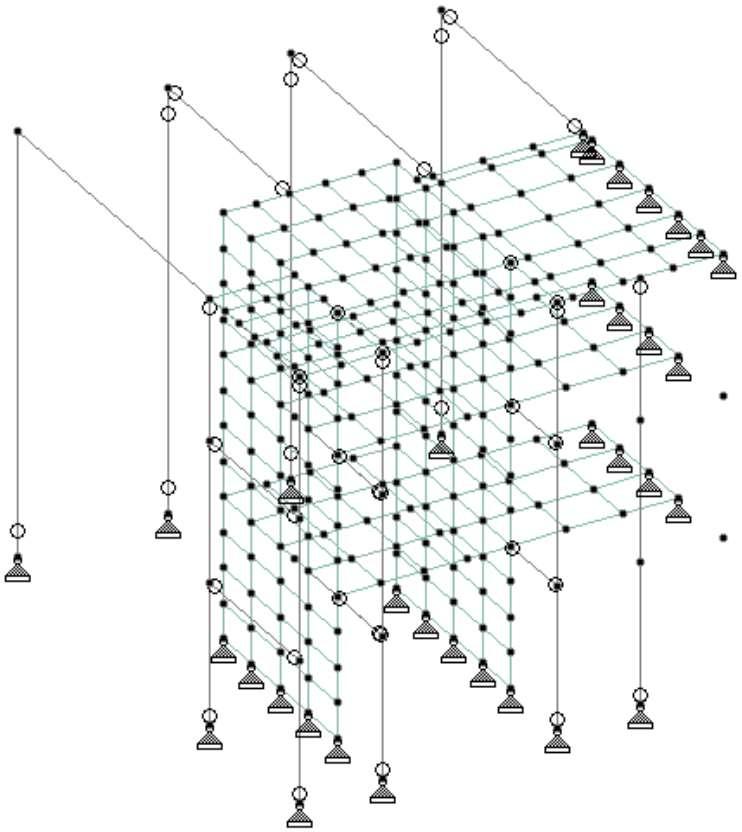
Efterfølgende beskrives de dele, som det er nødvendigt at ændre eller tilrette i analysemodellen.

4.3.1 Geometri

Den overførte model indeholder desværre nogle fejl, som skal tilrettes i Staad Pro. Her udføres følgende operationer, hvor det er vigtigt at ovenfornævnte krav overholdes.

- Flytning af knuder
  - Årsag - en af bjælkerne ligger skævt i komponentmodellen
  - Årsag - nogle af bjælkerne er placeret forskudt i forhold til den rette bærelinje
- Sletning af sammenfaldende knuder
  - Årsag - sammensatte bjælker og søjler giver to knuder oven i hinanden
- Bjælkers start- og slutknuder defineres
  - Årsag - Sammenhængende elementer skal tilknyttes fælles knudepunkter
- Manglende elementer tilføjes
  - Årsag - Ikke alle elementer er kommet med over fra komponentmodellen

Det er vigtigt at bemærke, at eventuelle geometriske fejl ved komponentmodellen også vil resultere i fejl ved analysemodellen, som derfor skal tilrettes. Derudover er det vigtigt at elementer, der i virkeligheden hænger sammen, også kommer til at hænge sammen i modellen, ved at de har fælles knudepunkter. Analysemodellen kommer hurtigt til at indeholde mange knudepunkter, hvilket er forsøgt illustreret på figur 4.7, hvor det skal bemærkes, at der her er tale om den endelige analysemodel.

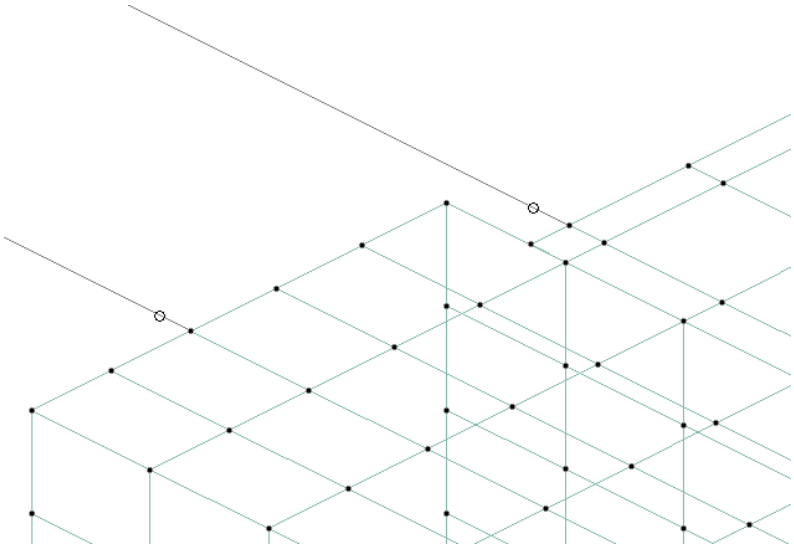


Figur 4.7 *Illustration af antallet af knudepunkter, der hurtigt kan komme til at virke uoverskueligt.*

4.3.2 Materialer

Omkring elementernes materialeegenskaber skal der gøres to ting. Den ene er at kontrollere de egenskaber, der automatisk er kommet med over fra komponentmodellen, og den anden er at tildele materialeegenskaber til elementer, der mangler. Som tidligere nævnt, bliver der ikke overført betonvægge og -dæk, hvilket betyder, at disse opbygges i analysemodellen ved at generere et net af firkantelementer, der defineres som værende beton med en vis tykkelse. Her er det vigtigt, at der sikres en sammenhæng mellem nettene af beton, hvor vægge og dæk hænger sammen, samt at tagbjælkerne, der hænger sammen med betondæk får sammenfaldende knudepunkter hermed. Dette er illustreret på figur 4.8. Omkring egenskaberne for beton skal det bemærkes, at elasticitetsmodulet rettes til $500 f_{cd}$, så det stemmer overens med de danske standarder.

De ekstra elementer, som er blevet tilføjet i analysemodellen, skal ligeledes tildeles materialeegenskaber, hvilket gøres i overensstemmelse med oplysningerne i komponentmodellen.



Figur 4.8 *Illustration af hvordan de forskellige elementer deler samme knudepunkter.*

4.3.3 Understøtninger

Den statiske sammenhæng i konstruktionen skal kontrolleres, hvilket sker ved at se nærmere på hver enkel bjælkes understøtnings- eller fastholdelsesforhold. Ligesom det blev resultatet af forsøg 2 i afsnit 3.2, er det også her lykkedes at overføre understøtnings- og fastholdelsesforholdene korrekt. Det er i denne sammenhæng vigtigt, at man efter at have gennemført analyserne i Staad Pro, vurderer om resultaterne er realistiske i forhold til den ønskede statiske virkemåde.

4.3.4 Laster

Konstruktionen skal påføres laster, som fastlægges på samme måde som ved en traditionel projektering. Beregningerne heraf kan findes i bilag A. Lasterpåvirkningerne pålægges i analysemodellen, da det ikke er muligt at overføre lasterne fra komponentmodellen jvf. forsøg 1 i afsnit 3.1. Der anvendes de samme laststørrelser, som ved den oprindelige projektering, idet der regnes efter de samme normer. De relevante laster er:

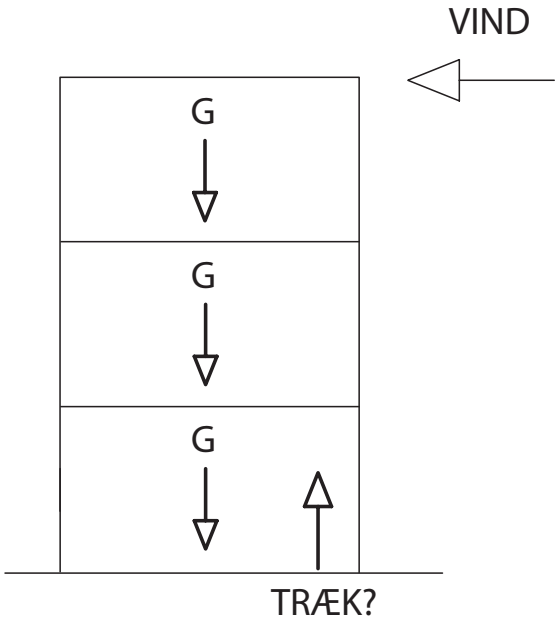
- Egenlast
- Vindlast
- Snelast

Her er nyttelasten ikke medtaget, hvilket skyldes at denne ikke vil indgå i lastkombinationerne til de analyser, der ønskes udført. Omkring nyttelasten ville det være nødvendigt enten at påføre denne som en fladelast eller at lave en fordeling heraf og påføre den som en linielast på de elementer, der vurderes at skulle optage den. Ved analyserne vil det blive præciseret hvilke lastkombinationer, der er vurderet til at være de værste og dermed dimensionsgivende.

4.4 Stabilitetsanalyse

Der gennemføres en analyse af totalstabiliteten af den udvalgte konstruktion. Dette skyldes, at der vil være en risiko for væltning af de stabiliserende vægge ved vindtryk på de store glasfacader. Af denne grund er det lastkombinationen med dominerende vind, der vil være dimensionsgivende for denne analyse. Mere uddybende lastberegninger kan findes i bilag A.

Vindbelastningen påføres analysemodellen, som fordeler denne gennem konstruktionen til de to stabiliserende betonvægge. Det undersøges herefter, hvorvidt der vil optræde træk- eller trykspændinger ved betonvæggen i skivens plan. Her vurderes det kritiske område at være ved fundamentet. Hvis der optræder trækspændinger, vil det være nødvendigt at indlægge korrigerede rør eller lignende, der kan optage disse væltende kræfter og dermed sikre, at konstruktionen er stabil. Essensen af stabilitetsanalysen er illustreret på figur 4.9.



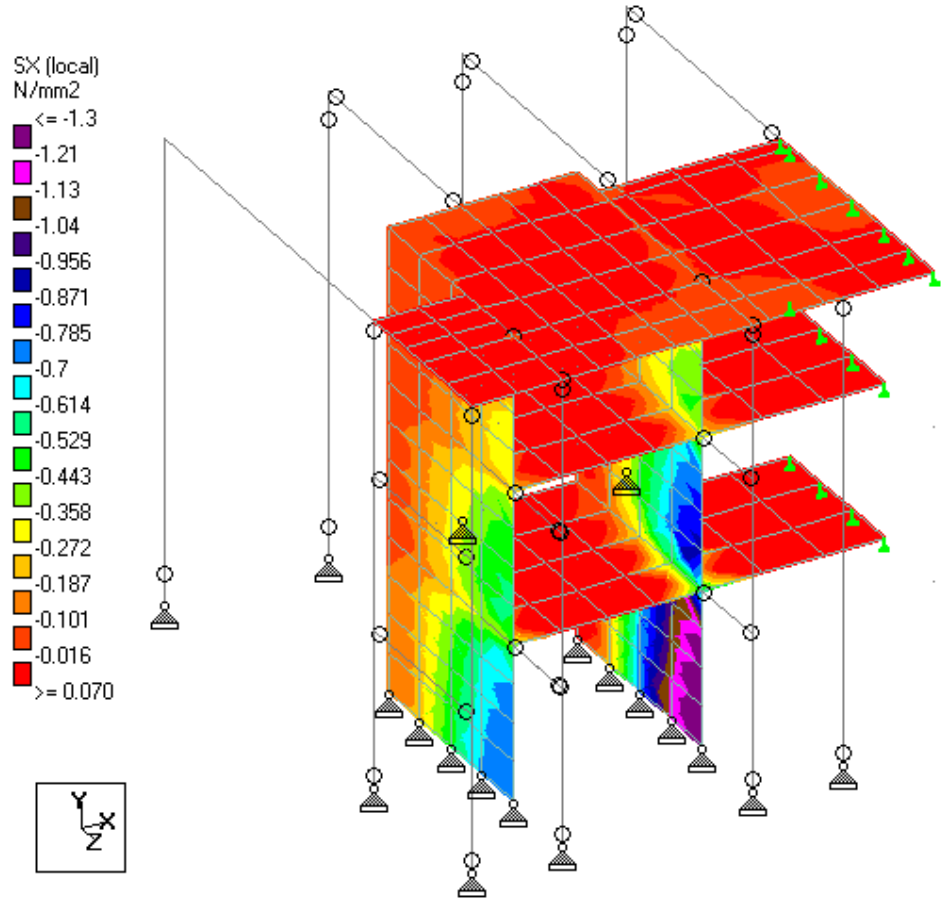
Figur 4.9 *Illustration af stabilitetsanalysens formål, hvor G står for egenlasten.*

Håndberegningerne for denne stabilitetsanalyse er relativt simple, men kræver samtidig, at der foretages en række antagelser om lastfordelingen, hvilket sker automatisk i analysemodellen. Udførelsen af denne stabilitetsanalyse skal ses i sammenhæng med den resterende dimensioneringsopgave, hvor der alligevel skal påføres de fundne laster. Hermed menes at man med analysemodellen laver et samlet setup, der virker som basis for de nødvendige beregninger. Her defineres alle relevante laster og lastkombinationer. Hvis det setup er lavet, vil i den sammenhæng være meget enkelt også at kontrollere spændingerne i betonvæggene.

Det vælges, i første omgang, ikke at medtage al egenlasten i stabilitetsberegningen, hvilket er på den sikre side, idet egenlasten virker til gunst for totalstabiliteten. Hvis der skulle optræde trækspændinger i betonvæggen, medtages en større del af egenlasten, der pålægges elementerne manuelt, inden det undersøges, om der skal indlægges trækstænger. Grunden hertil er, at påførslen af disse laster så for vidt ikke har noget med den integrerede projektering at gøre, så hvis denne tildels tidskrævende procedure kan undgås, vil det være at foretrække.

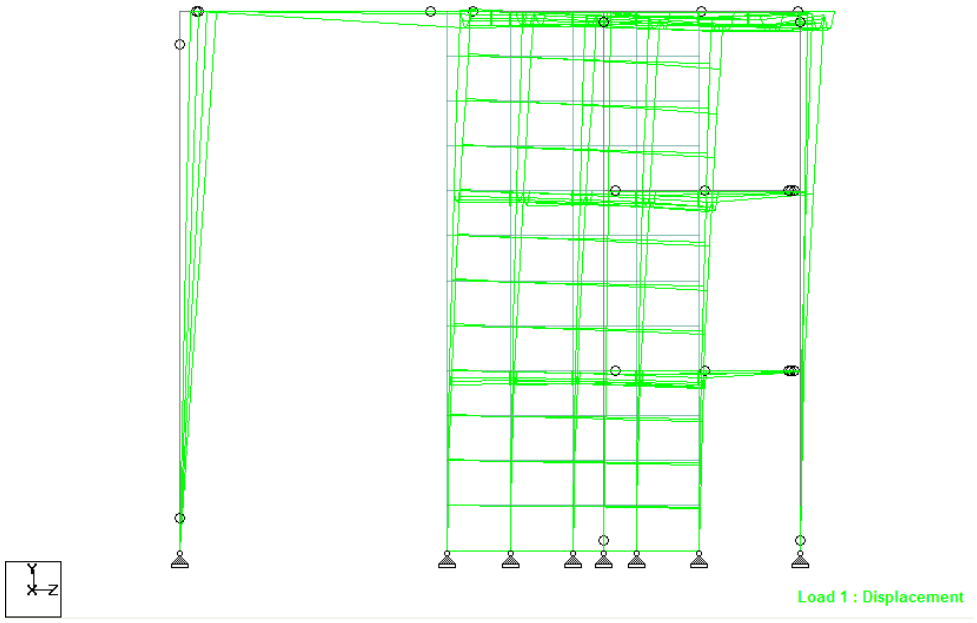
4.4.1 Resultat af stabilitetsanalyse

Denne analyse gennemføres med den præsenterede lastkombination med dominerende vind og en egenlast, der virker til gunst for stabiliteten. Det undersøges herudfra, om der optræder trækspændinger i de stabiliserende betonvægge. Resultatet af analysen kan ses på figur 4.10 og viser, at der udelukkende optræder trykspændinger i skiverne ved bunden af betonvæggene.



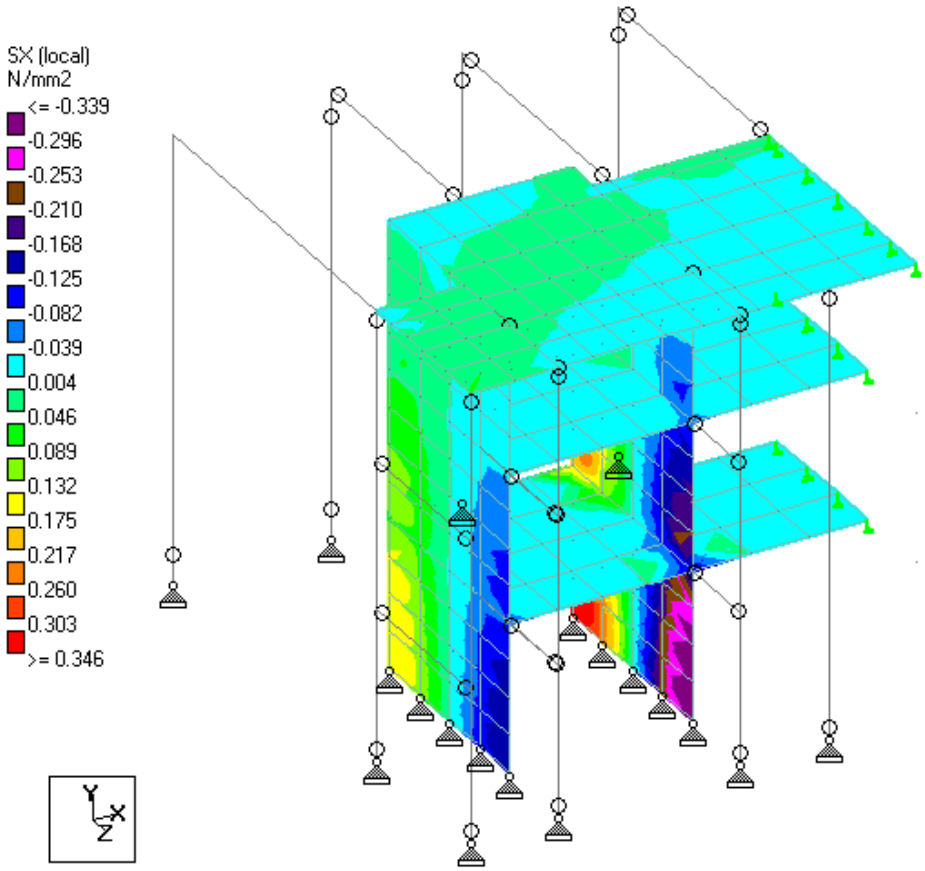
Figur 4.10 *Grafisk fremstilling af spændingerne i skivens plan ved den samlede lastkombination, hvor de forskellige farver angiver spændingernes størrelse.*

Ved denne belastning vil der ske en deformation af konstruktionen. Denne er vist på figur 4.11, hvor flytninger er skaleret op med en faktor 1:250. Der er fin overensstemmelse mellem den forventede og den simulerede deformation, da vinden påvirker konstruktionen fra venstre side. Samtidig anes det, hvordan betondækkene vil bue en anelse nedad.



Figur 4.11 *Illustration af deformationerne i konstruktionen, her set fra siden med de vindbelastede facadesøjler yderst til venstre. Der er anvendt en skala 1:250.*

For at kontrollere det fundne resultat, gennemføres den samme analyse, hvor der kun medtages vindlasten. Her skulle resultatet så gerne blive, at der vil optræde trækspændinger i den del af væggen, der er tættest på facadesøjlerne, mens der vil komme tryk i den anden side af væggen. Resultatet af denne analyse kan ses på figur 4.12.

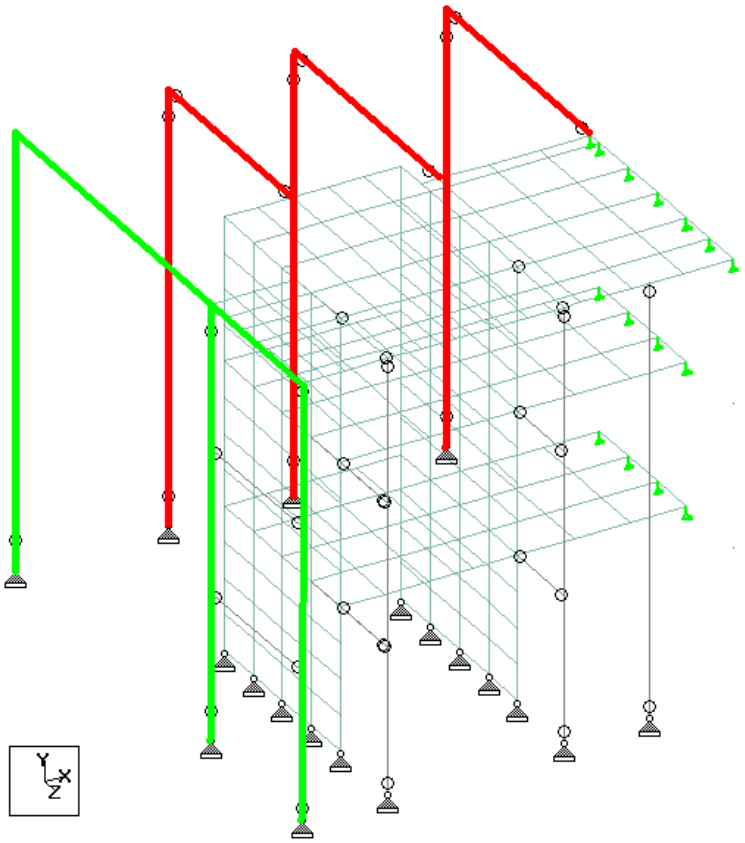


Figur 4.12 *Grafisk fremstilling af spændingerne i skivens plan, hvor konstruktionen udelukkende belastes af vinden vandret. Farverne angiver spændingernes størrelse.*

Den samlede konklusion herudfra må være, at stabiliteten ikke kan overholdes ved vindlasten alene, men dette tilfælde vil heller aldrig kunne opstå, da der sammen med konstruktionen vil være tilknyttet en egenlast. Dennes størrelse resulterer i, at der vil optræde trykspændinger i skiverne og det vil derfor ikke være nødvendigt at anvende trækoptagende stænger i de stabiliserende betonvægge.

4.5 Dimensionering af stålelementer

Det vælges ved denne reprojektering at se nærmere på stålsøjlerne ved facaden, og bjælkerne der forbinder disse med betonkonstruktionen. Grunden hertil er, at disse bliver overført fra komponentmodellen, og efter få tilretninger optræder de korrekt i analysemodellen. Søjlerne og bjælkerne udgør derfor en god stamme for reprojekteringen mht. genanvendelsen af data. Der skelnes mellem rammen mod den eksisterende bygning, der er markeret med grøn på figur 4.13, og de resterende søjler og bjælker, der er markeret med rød. Grunden hertil er, at den grønne ramme er lavet momentstiv, da den eksisterende bygning ikke må belastes. Dette resulterer i en anderledes momentfordeling, hvor momentet ikke er nul i rammehjørnet.



Figur 4.13 *Illustration af den bærende konstruktion, hvor rammen mod den eksisterende bygning er markeret med grøn. De øvrige stålsøjler og -bjælker, der behandles, er markeret med rød.*

Der anvendes følgende profiler:

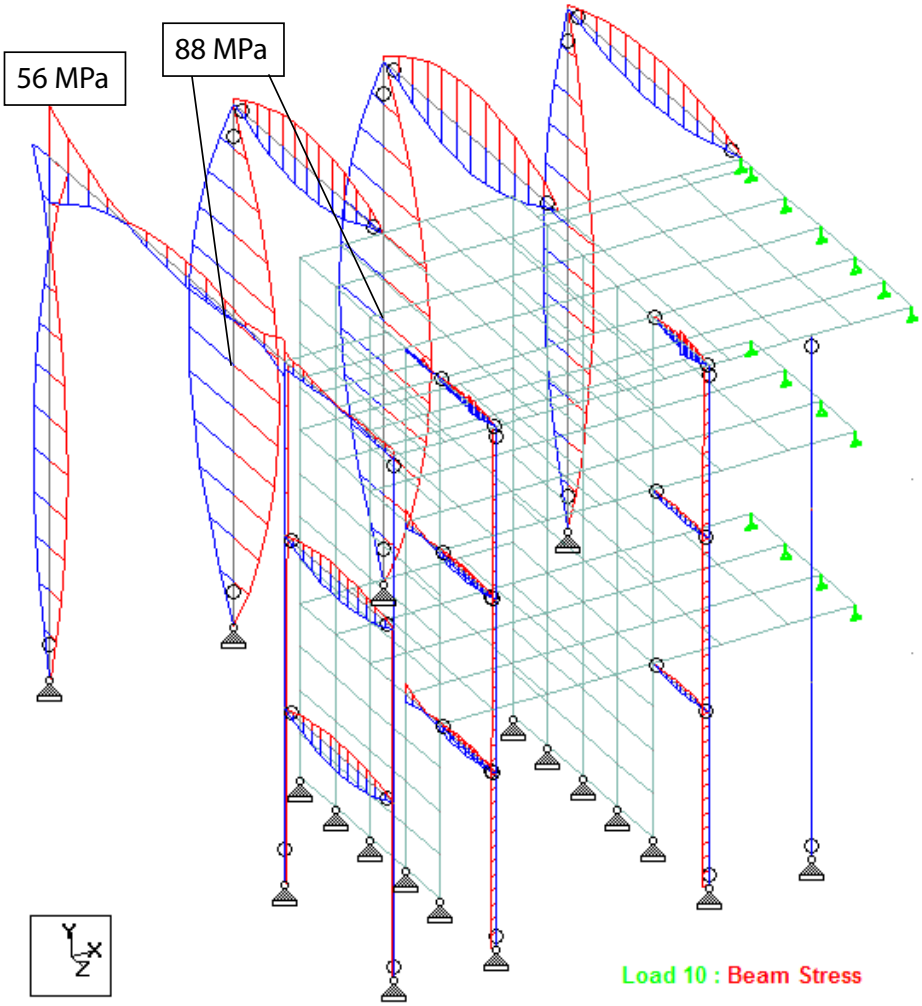
- Stålsøjler/rammeben = IPE360
- Stålbjælker/rammeoverligger = IPE300

4.5.1 Stålsøjler

Der opstilles to designkriterier til stålsøjlerne, som er IPE360 profiler. Det første kriterie er møntet på stålkvaliteten, der er valgt til S235, og der må derfor ikke optræde spændninger over $200MPa$, svarende til den regningsmæssige flydespænding. Det andet kriterie er møntet på udbøjningen, der ikke må være mere end $23mm$, hvilket svarer til en femhundrendedel af søjlernes geometriske højde.

Spændingsanalyse ved søjler

For at belaste konstruktionen mest muligt påføres lastkombinationen, hvor det er vinden, der er dominerende. Dette giver den største tværbelastning af søjlerne, som desuden også får en aksial belastning fra egenlasten af tagkonstruktionen samt sne- og vindtryk herpå. Staad Pro analyserer spændingerne i søjlerne, og resultatet heraf kan ses på figur 4.14. De største spændninger vil optræde på midten af de to midterste søjler, og er fundet til $88MPa$.



Figur 4.14 *Illustration af spændingerne i analysemodellen. De røde og blå grafer viser, hvordan der kommer hhv. tryk og træk i I-profilernes flanger.*

Spændingerne ved de værst belastede søjler stammer fra et bidrag fra den tværbelastende linjelast og et bidrag fra den aksiale belastning fra taget, der afleveres gennem bjælken, som understøttes af søjlerne. De fundne spændinger er væsentligt mindre end kriteriet herfor, og tværsnittet vil kun opnå en udnyttelsesgrad på 44% ved den værste belastning.

Kontrol af søjleudbøjning

Med det første kriterie overholdt, analyseres flytningerne i modellen, som påføres LAK 1.0. Den maksimale udbøjning er fundet til 20*mm* og vil optræde på midten af de værst belastede søjler, hvilket stemmer overens med en forventning herom, da det er her det den største momentbelastning optræder. Hermed overholdes kriteriet for udbøjningen også, og det kan bemærkes at det netop er dette kriterie der har været dimensionsgivende for valget af profiler til søjlerne.

4.5.2 Stålbjælke

De omtalte bjælker, der ligger af på de dimensionerede søjler, skal ligeledes undersøges for om de overholder de to kriterier. Med hensyn til udnyttelsen af tværsnittet er samme flydespændingenskriterie gældende, nemlig at der ikke må optræde regningsmæssige spændinger over $200MPa$. Det andet kriterie omkring udbøjningen er differentieret mellem de forskellige bjælker, der ikke er lige lange. De spænder mellem $5,6m$ og $6,5m$, mens bjælken, der er en del af den stive ramme, vil blive behandlet for sig selv, da denne er noget længere, kontinuert over en understøtning og fastholdt i rammehjørnet. Kriteriet for udbøjningen af de fast-simpelt understøttede bjælker sættes til $14mm$, hvilket svarer til en firehundrendedel af den korteste bjælke. Dette er på den sikre side, da de øvrige bjælker har en større tilladt udbøjning.

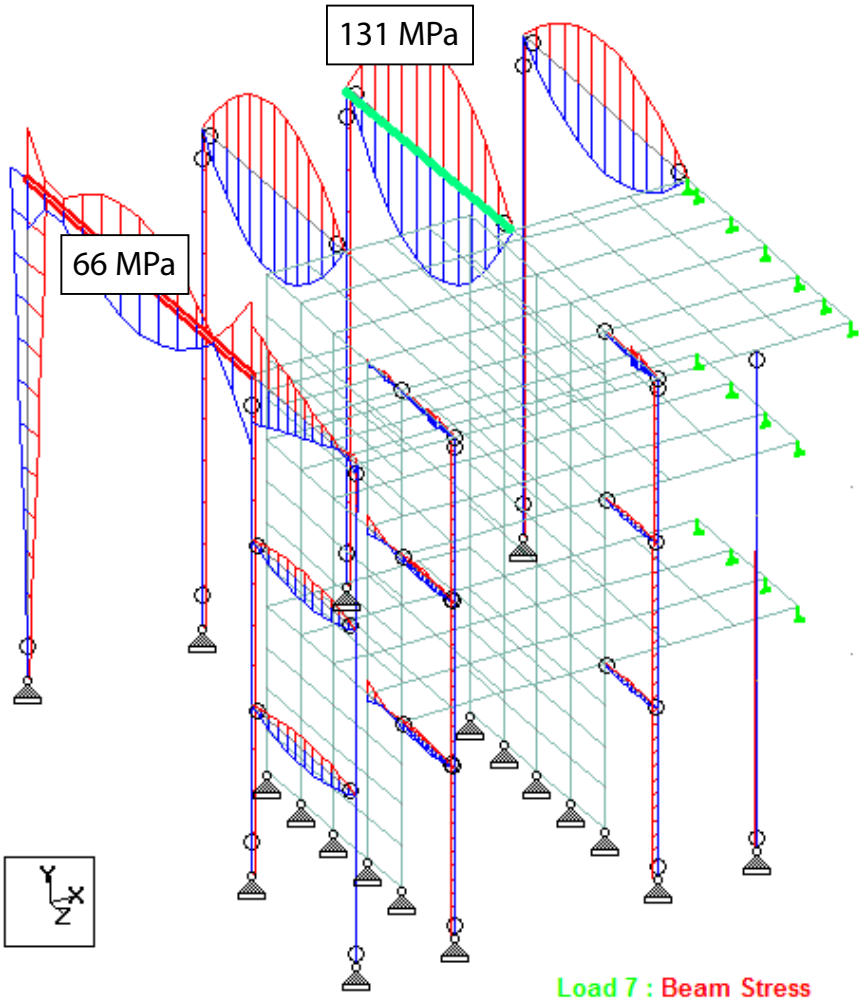
Spændingsanalyse ved bjælker

Det må formodes, at de største spændinger vil optræde på midten af bjælkerne, da disse er fast-simpelt understøttet og udsættes for en jævnfordelt linjelast, hvorved den maksimale momentbelastning findes ved bjælkemidten. Ved analysemodellen opstilles to lastkombinationer mht. brudgrænsetilstanden, hvor den ene er LAK 2.1 med dominerende vind, og den anden er LAK 2.3 hvor egenlasten er forøget og kombineret med naturlasterne.

Gennem analyserne er det fundet, at den værste belastning for bjælkerne er ved LAK 2.1 med dominerende vindlast, der trykker lodret ned på bjælkerne. Spændingerne forårsaget af denne lastkombination kan ses på figur 4.15. Her er den værst belastede bjælke markeret med lysegrøn, og det er fundet, at denne vil opnå en maksimal spænding på $131MPa$. Dette resulterer i en maksimal udnyttelsesgrad på 66%.

Kontrol af bjælkeudbøjning

For at kontrollere udbøjningen ved anvendelsesgrænsetilstanden, påføres LAK 1.0 i analysemodellen. Resultatet heraf bliver, at den største relative flytningen, svarende til bjælkeudbøjningen, vil findes i den mest belastede bjælke og være på $14mm$. Denne udbøjning overholder lige præcist kriteriet hertil, og det må dermed konstateres, at det ligesom ved søjledimensioneringen også her er udbøjningen, der er dimensionsbestemmende.



Figur 4.15 *Illustration af spændingerne i bjælkerne, hvor den værst belastede er markeret med lysegrøn. De røde og blå grafer viser, hvordan der kommer hhv. tryk og træk i I-profilernes flanger.*

4.5.3 Momentstiv ramme

Ramme mod den eksisterende bygning skiller sig ud fra de øvrige, ved at der er en momentstiv samling i rammehjørnet. Ved de gennemførte analyser er spændingerne også beregnet i denne del af konstruktionen. Ved de gennemgåede lastkombinationer er det fundet, at den maksimale spænding i rammen er på $66MPa$, hvilket kan ses på figur 4.15. Tværsnittet får hermed en udnyttelsesgrad på 33%. Udbøjningen af rammen er størst ved overliggeren, der bøjer $10mm$ ned i anvendelsesgrænsetilstanden. Det kan hermed konstateres at rammen mod den eksisterende bygning også overholder de opstillede kriterier ved anvendelse af de samme profiler, som ved de øvrige søjler og bjælker ved facaden.

4.5.4 Sammenligning med den gennemførte projektering

For at verificere de fundne resultater fra den gennemførte reprojektering, sammenlignes disse med resultaterne fra den "virkelige" projektering. Dette er gjort i tabel 4.1.

	"Virkelig" projektering	Reprojektering
Udnyttelsesgrad, søjle	42%	44%
Udbøjning, søjle	20mm	25mm
Udnyttelsesgrad, bjælke	45%	66%
Udbøjning, bjælke	14mm	14mm

Tabel 4.1 *Sammenligning mellem de to gennemførte projekteringer.*

Omkring stålsøjlerne er der ikke den store forskel på de gennemførte projekteringer, hvilket dog er gældende ved udnyttelsesgraden for stålbjælken. Dette er vurderet at skyldes, at der ved den "virkelige" dimensioneret er regnet med LAK 2.1 med dominerende sne, som den værste lastkombination. Ved reprojekteringen er det valgt at foretage et meget konservativt skøn mht. vindtrykket ned på taget, hvilket betyder, at der optræder en større momentbelastning ved denne lastkombination. Dette resulterer i en større udnyttelsesgrad, hvilket dog ikke har nogen betydning, da den stadig er et godt stykke fra de 100%, og det er desuden udbøjningen, der er dimensionsgivende.

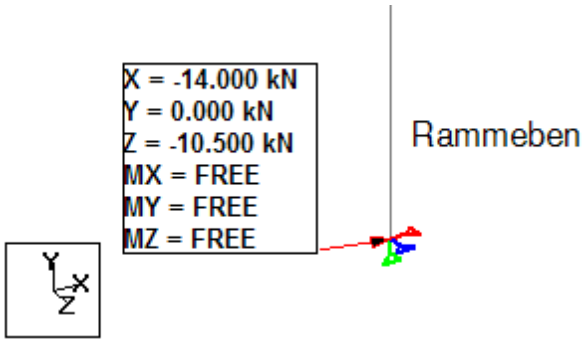
4.6 Andre nyttige resultater

Når man nu en gang har opbygget en komponentmodel, hvor data og oplysninger er taget fra og ført over i en analysemodel, gælder det om at udnytte mulighederne hermed. Det er hensigten, at man med en analysemodel, hvor der er påført relevante laster og kombinationer heraf, skal kunne udtrække resultater til dimensionering af de bærende konstruktioner. Dette er der vist eksempler på ved denne reprojektering, hvor der er fundet spændinger i betonvægge, og stålelementers bæreevne og udbøjning er eftervist. Derudover skal der dimensioneres en række samlinger samt de fundamenter, der skal bære konstruktionen. Det er ikke muligt at dimensionere de to nævnte dele i Staad Pro, men det er til gengæld muligt at udtrække resultater, der giver belastninger af fundamenterne samt kræfterne/spændingerne, der skal overføres i samlingerne.

4.6.1 Fundamentsbelastninger

En stor del af projekteringen af fundamenter omhandler opstilling af beregningsforudsætninger. Der findes forskellige programmer, som kan udføre selve beregningsopgaven, og konstruktionsingeniørens opgave vil derfor ofte bestå i at finde belastningerne af fundamenterne og egenskaberne af den jord, hvori disse placeres. Sidstnævnte gøres i samarbejde med en geoteknikker eller ved at studere en geoteknisk rapport for det område, hvor der skal bygges.

Projekteringsopgavens hoveddel, vil derfor være at finde de korrekte fundamentsbelastninger. Disse kan tages direkte fra analysemodellen, hvor de relevante lastkombinationer allerede er påført. Dette vil være tidsbesparende, da man hurtigt kan danne sig et overblik over lasterne i de forskellige retninger. På figur 4.16 ses et eksempel på resultatet af FEM-beregninger i en analysemodel. Her er der tale om et vandret belastet rammeben, hvor kraftpåvirkningerne af det understøttende fundament kan tages direkte fra modellen. Eksemplet er ikke fra analysemodellen for reprojekteringen.

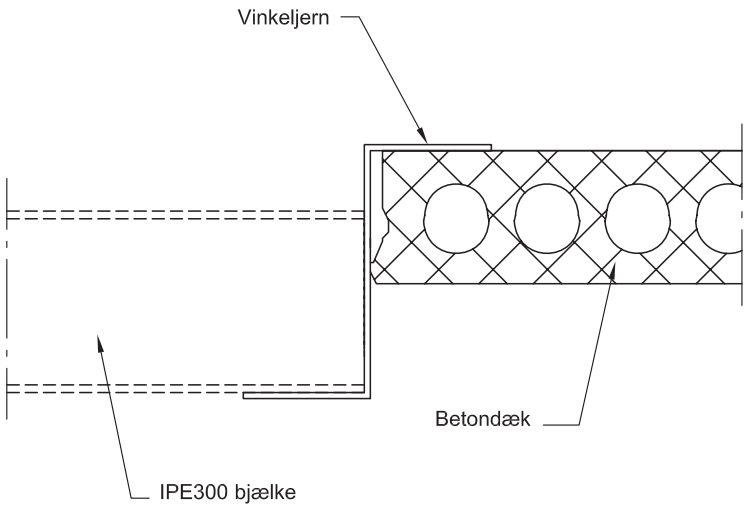


Figur 4.16 *Illustration af reaktionerne ved et rammeben.*

Der skal stadigt gøres en del håndarbejde i forbindelse med dimensioneringen, men det må vurderes som en fordel, at belastningerne kan tages direkte ud af de allerede gennemførte FEM-beregninger. Det vurderes i denne sammenhæng, at en sådan beregningsprocedure vil kunne være med til at mindske antallet af dimensioneringsfejl.

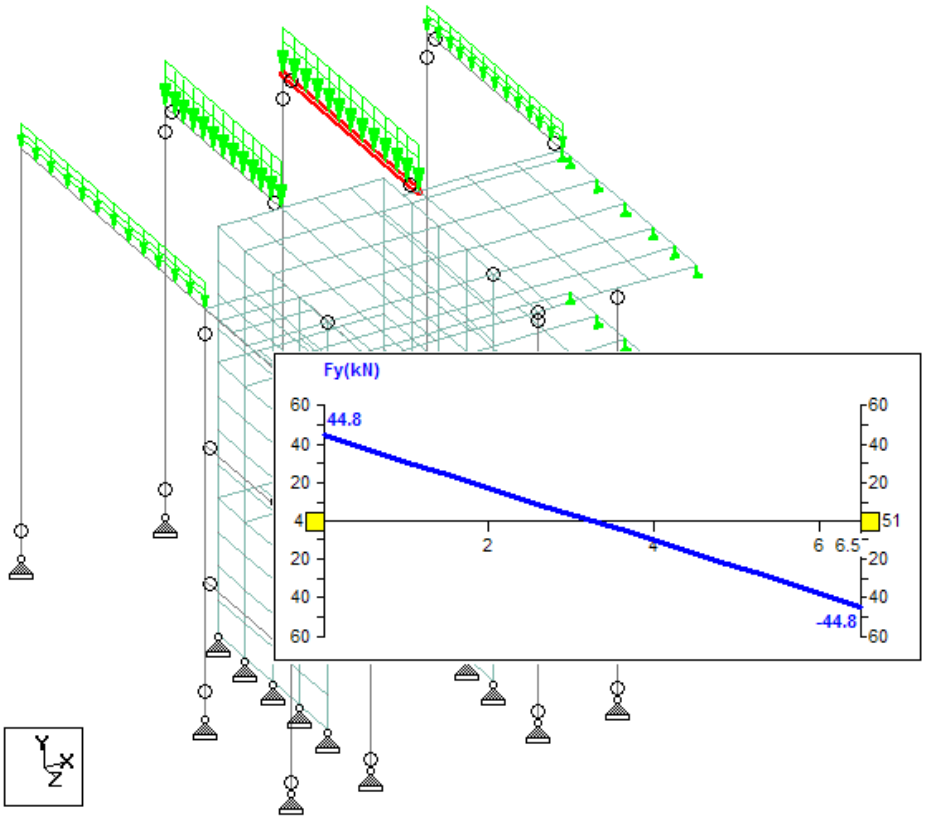
4.6.2 Grundlag for samlingsdimensionering

Det er desværre ikke muligt at dimensionere samlinger i Staad Pro, men man kan stadigt drage fordel af FEM-beregninger i analysemodellen. Analogt med fundamentsdimensioneringen er det en vigtig del af samlingsdimensioneringen, at man får fastlagt hvilke kræfter eller spændinger, der skal kunne overføres. Til dette formål kan den allerede udarbejdede analysemodel ligeledes anvendes. For at vise dette, gennemføres her et lille eksempel. Bjælkerne, der tidligere blev dimensioneret, ligger af på søjlerne i den ene ende, og de skal så samles med betonkonstruktionen i den anden ende. Her vælges det at lave et vinkeljern, som ligger ovenpå betondækket og går ned og bærer IPE-profilet. Dette er vist på figur 4.17



Figur 4.17 *Illustration af samlingsdetaljen mellem et IPE-bjælkeprofil og et betondæk.*

Fra analysemodellen findes den lodrette kraft, som vinkeljernet skal dimensioneres til at kunne overføre til betondækket. På figur 4.18 ses analysemodellen med resultatet ved den maksimale lodrette belastning af den dimensionsgivende stålbjælke. Samlingen skal kunne overføre forskydningskræften i bjælkeenden, der her er fundet til $44,8kN$.



Figur 4.18 *Illustration af resultatet fra analysemodellen, der skal anvendes til vinkeljern-samlingen.*

4.7 Overførsel af bygningsmodel tilbage til Revit

Ved en fuldstændig integreret projektering skulle det herefter være muligt at overføre eventuelle rettelser direkte eller endda automatisk tilbage til komponentmodellen. Dette er dog ikke muligt mellem Staad Pro og Revit, men det må formodes, at programmerne bliver kompatible med denne eksport/import mulighed når anvendelsen af IFC-modeller bliver bedre integreret. Alternativt skal der anvendes tredjepartsprogrammer eller et direkte link mellem programmerne, hvilket kræver et tillægsprogram.

4.8 Opsummering på reprojektering

Her gives en kort opsummering på reprojekteringen, omhandlende de teknologiske muligheder. Selve det at gennemføre en integreret projektering vil blive vurderet og uddybet i den efterfølgende delkonklusion.

Ved det gennemførte eksempel på en integreret projektering er der præsenteret forskellige fordele, som primært bunder i følgende:

1. Muligheden for at genanvende data, hovedsageligt om geometri, fra komponentmodellen
2. Muligheden for at samle alle relevante laster og lastkombinationer i én analysemodel
3. Muligheden for at udtrække FEM-beregninger af snitkræfter, spændinger og reaktioner

Det er alt sammen ting, der kan være med til at skabe en mere overskuelig og effektiv projektering, men der er samtidig en række ønskelige muligheder i forhold til den integrerede projektering. Her tænkes på:

- Bedre muligheder for direkte overførsel af data mellem komponent- og analysemodel
- Indarbejdelse af Eurocodes med danske annekser i beregningsprogrammet
- Mere automatiske påførsel af laster, der sammensættes i de værste lastkombinationer
- Mulighed for dimensionering af fundamenter og samlinger direkte ud fra analysemodellen

Hovedårsagen til, at det ville være en fordel at have samlet alle disse ting i et beregningsprogram er, at man hurtigere vil kunne gennemføre dimensioneringen af de forskellige bærende dele. Hvis det derudover var muligt at opdatere analysemodel automatisk ved ændringer i komponentmodellen, ville man hurtigt kunne se konsekvenserne heraf ved alle de dele, der er dimensioneret i analysemodellen. Dette redskab vil man kunne bruge ved en vurdering af betydningen af forskellige ændringsforslag fra arkitekten, entreprenøren eller andre.

Delkonklusion

5

Denne delkonklusion har til formål at sammenfatte hvilke ændringer der sker, ved at gå fra en traditionel 2D projektering til at arbejde i 3D og gennemføre en integreret projektering vha. en bygningsmodel. Her tages der udgangspunkt i de gennemførte forsøg og reprojekteringen af det konkrete byggeprojekt.

Hvis man går fra en traditionel projektering til en integreret projektering, vil der ske en ændring i den måde, hvorpå man arbejder med byggeprojekter. Dette være sig både gældende for rolle- og arbejdsfordelingen samt selve processen. Når man ændrer på disse ting er det vigtigt at være opmærksom på hvilke ting fra den gældende praksis, man skal/bør medtage ved en ny projekteringsmetode. Samtidig vil det være nødvendigt at fremhæve de fordele, der vil være ved den ændrede arbejdsmetode, hvis man skal have succes med at gennemføre et sådant skifte.

Helt grundlæggende vil den modelbaserede arbejdsmetode betyde, at man går fra hovedsageligt at projektere efter normerne, til i højere grad både at projektere efter normerne og konstruktionernes bygbarhed. Sidstnævnte begreb er et dansk udtryk for "constructability", der egentligt er mere dækkende for betydningen heraf. Dette har man også haft for øje ved en traditionel projektering, men ved at man arbejder med bygningsdelene som 3D-objekter, får man et bedre overblik over sammenhængen i konstruktionen, og det bliver mere tydeligt, hvor der er problemer i forhold til at kunne opføre bygningen. [19]

Omkring overførslen af data mellem komponentmodellen i Revit og analysemodellen i Staad Pro må det konkluderes, at det ikke er muligt at få alle elementer overført korrekt. Man må derfor nøjedes med at anvende de ting, som kan lade sig gøre, og desuden håbe på at fremtidige programmer eller programversioner vil tilbyde bedre muligheder i forhold til den integrerede projektering.

I forhold til projekteringsarbejdet vil det efterfølgende behandle delemner omhandlende beregninger, tegningsproduktion samt rolle- og arbejdsfordelingen.

5.1 Beregninger

Gennem dimensioneringen af bærende konstruktioner udarbejdes en række beregninger, der skal dokumentere, at kravene til bæreevne- og anvendelsegrænsetilstanden overholdes. Man har i mange år anvendt lommeregner og blyant til at foretage såkaldte håndberegninger, hvilket skyldes, at de er hurtige og man har styr på, hvad der bliver beregnet.

Ved den integrerede projektering vil det dog i langt højere grad være beregningsprogrammer, der efterviser, om kravene overholdes ud fra de forudsætninger, man har opstillet i modellerne.

På denne måde flyttes fokus væk fra selve beregningsdelen og mere over på opstilling af beregningsforudsætninger og sikring af sammenhæng mellem komponentmodellen, analysemodellen og virkeligheden. Opbygningen af modellerne kan tage længere tid end gennemførelsen af en håndberegning, men det er samtidig muligt at opnå en del fordele, som gør at denne tid hurtigt er vundet ind igen.

I forbindelse med dokumentation af beregninger og kvalitetsstyring (KS), vil det være muligt at opstille forskellige standarder i beregningsprogrammerne, der sørger for, at man automatisk får dannet en oversigt med beregninger og illustrationer for den gennemførte dimensionering. Ved en sådan standardisering kan man nemt og hurtigt opdatere beregningsdokumentationen for et byggeprojekt, hvis der skulle ske ændringer i forudsætningerne. Set i forhold til KS-arbejdet, vil man også kunne drage fordel af ensartede og læsbare udkrifter, set i forhold til traditionelle håndberegninger. I og med at der ofte er en række forhold omkring et byggeprojekt, der vil blive ændret, vil man i mange tilfælde kunne udnytte, at man har brugt ekstra tid på at opbygge komponent- og analysemodellen.

5.2 Tegningsproduktion

En vigtig del af en traditionel projekteringsopgave har været produktionen af tegninger. Dette skyldes, at det er via planer, snit og detaljer, at man kommunikerer ud til de udførende parter, hvordan bygning er tænkt udformet. Man har således fokuseret på at producere x antal tegninger, hvorefter entreprenøren har kunnet melde tilbage med eventuelle ønsker om flere tegninger. Ved at projektere ud fra en 3D-bygningsmodel vil fokus blive flyttet fra at producere tegninger og over til at arbejde med modellen. Det skal herefter være muligt automatisk at generere de ønskede tegninger ud fra modellen. Dermed får man mulighed for både at kommunikere gennem modeller og/eller tegninger alt efter, hvad parterne ønsker. Dette vil blive behandlet yderligere i anden del af denne rapport.

5.3 Rolle- og arbejdsfordeling

Ved en traditionel projektering har den rådgivende part ofte modtaget 2D-tegninger fra arkitekten, og der er derefter foregået et samarbejde mellem en teknisk tegner og en konstruktionsingeniør. Her har man sideløbende produceret konstruktionstegninger og lavet beregninger for de bærende dele. Det vil være nødvendigt at ændre denne arbejdsmetode og rollefordeling ved en integreret projektering. Dette skyldes, at der nu vil blive taget udgangspunkt i en bygningsmodel og beregningerne vil, som nævnt, blive udført vha. analysemodellen. Det vil derfor være nødvendigt at finde ud af, hvordan projekteringsprocessen kommer til at forløbe mest optimalt, og herunder hvem der skal have ansvaret for hvad. Hvordan man griber dette an, vil være forskelligt afhængigt af byggeprojektet, medarbejderne og virksomheden. Det vigtige er her, at man fra virksomhedernes side er opmærksomme på, at ændringerne i arbejdsmetoderne sandsynligvis vil kræve ændringer i rollefordelingen og samarbejdet medarbejderne imellem.

5.4 SWOT

For at anskueliggøre hvilke overordnede styrker, svagheder, muligheder og barrierer, der er ved anvendelsen af integreret projektering, er disse samlet i tabel 5.1. Det skal her bemærkes, at der langt fra er tale om en SWOT-analyse i traditionel forstand, der vil være langt mere omfangsrig. Tabellen skal ses som en overordnet opsummering på delkonklusionen.

Styrker	**Svagheder**
Genanvendelse af informationer/data	Tid til modellering
Standardopstillinger for beregninger	"Sort-boks beregninger"
Muligheder	**Barrierer**
Automatisk opdatering af modeller	Investering i, og anvendelse af, nye programmer
Mere effektiv projektering med mindre fejl	Ny rolle- og arbejdsfordeling

Tabel 5.1 *SWOT-analyse i forhold til integreret projektering.*

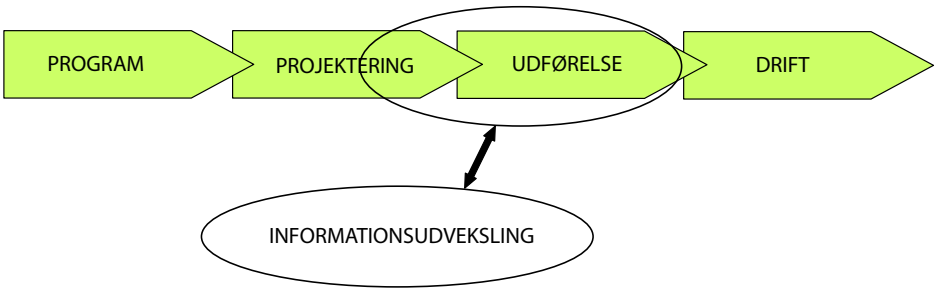
Del II

INFORMATIONSUDVEKSLING MELLEM PROJEKTERENDE OG UDFØRENDE

Introduktion til del II

Denne anden del af rapporten er inddelt i tre kapitler. Det første har til formål at give en basis for de efterfølgende ved at præsentere en overordnet status på anvendelsen af BIM herhjemme og internationalt. Her belyses nogle af mulighederne hermed, og hvordan disse anvendes i branchen.

De to øvrige kapitler omhandler anvendelsesmulighederne ved bygningsmodellerne i forhold til informationsudvekslingen mellem rådgiveren og entreprenøren. Her belyses, hvordan man fra forskellige sider forsøger at påvirke udviklingen, mens det sidste kapitel tager udgangspunkt heri og præsenterer, hvad der konkret er muligt nu samt fremtidsmuligheder med bygningsmodellerne i forhold til samarbejdet mellem parterne. Fokus ligger derfor ikke længere samme sted i byggeprocessen som ved *del I*, hvilket også fremgår af figur 5.1. Informationsudvekslingen har her fået sit startpunkt, når de første dele af projektmaterialet er udarbejdet og slutter, når den endelige bygning er opført. Det er valgt ikke at opdele dette forløb i mindre dele.



Figur 5.1 *Illustration af hvor i byggeprocessen informationsudvekslingen, der behandles i denne del, foregår.*

6 Status for anvendelse af bygningsmodeller

Dette kapitel har til formål at give en basis for mulighederne med at anvende bygningsmodeller samt belyse den overordnede status herfor.

6.1 Modelbaseret arbejdsmetode

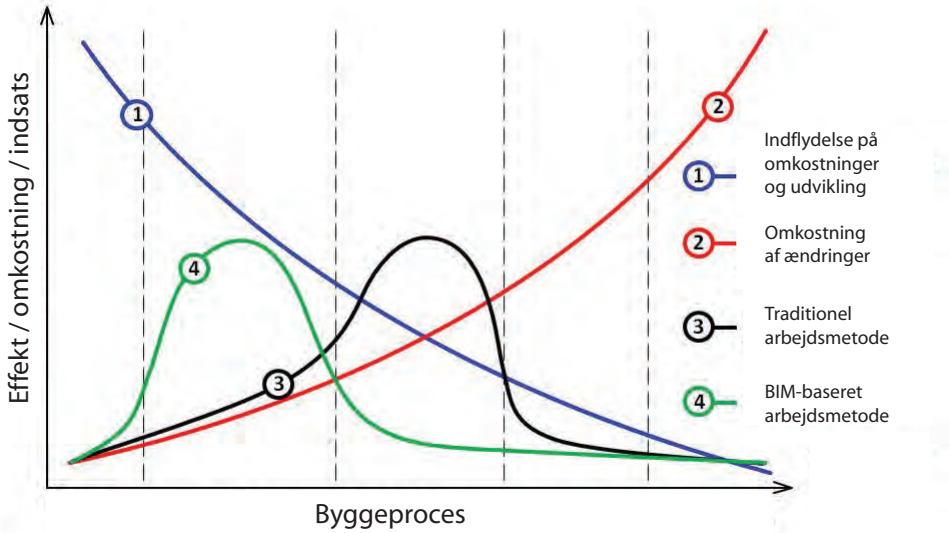
Det kan være svært at sige præcist, hvad der er så godt ved at anvende bygningsmodeller ved gennemførelsen af et byggeprojekt. Dette kan skyldes, at der er så mange forskelligartede muligheder, som man enten nu eller i fremtiden vil kunne drage fordel af. Hvis man skal pege på én overordnet ting, må det være, at man gennem BIM får mulighed for at påvirke byggeprojektet tidligere i forløbet, hvilket er illustreret på figur 6.1. Graferne viser, at man i starten af byggeprocessen har mest indflydelse på udviklingen, og dermed omkostningerne, af byggeprojektet. Denne indflydelse bliver mindre eftersom byggeprocessen skrider frem. Modsat stiger omkostningerne ved at foretage ændringer, eftersom processen skrider fremad.

Ved at forskyde arbejdsindsatsen, som det er vist på grafen, vil det i højere grad være muligt at træffe og ændre beslutninger, mens det ikke har de store omkostninger i forhold til byggeprojektet. Derudover behandles en række problemstilinger tidligere i forløbet, hvilket kan skyldes, at man hurtigt kan danne sig et overblik over bygningsmodellen og se, hvor der er ting, som man ikke har taget stilling til endnu. På denne måde kan man sige, at det bliver muligt at arbejde forud for problemerne, hvilket må forventes at resultere i et billigere og mere effektivt byggeri. Derudover er det fordrende for samarbejdet parterne imellem, hvis det så vidt muligt kan undgås, at der kommer store rettelser sent henne i byggeprocessen.

[19] og [20]

6.1.1 Internationalt perspektiv

Anvendelsen og udviklingen af BIM er selvsagt ikke kun noget der foregår i Danmark. Selvom der er gang i flere forskellige forsøgsprojekter herhjemme, vil man kunne opnå yderligere fordele ved at drage nytte af forsøgsresultater og projekter gennemført i hele verden. Vi er derfor nødt til at følge med i den internationale udvikling, hvilket også skal ses ud fra, at Danmarks størrelse ikke er fordrende, når det handler om at påvirke softwareudbyderne. Det vil derfor være en fordel, hvis virksomhederne støtter sig op ad den generelle globale udvikling, hvor udbyderne vil være nødsaget til at efterleve de krav, der stilles.



Figur 6.1 *Illustration af betydningen ved at ændre arbejdsmetode, hvor graf 3 og 4 angiver arbejdsindsatsen ved metoderne. [19]*

Det fremgår af en international[1] undersøgelse fra 2007/2008, udført af Erabuild[2], at de to delområder, hvor man primært anvender BIM, er:

- Kollisionskontrol
- Mængdeudtræk

Med et utal af rør og kanaler i en bygning, kan det hurtigt blive uoverskueligt at holde styr på, om nogle af disse skulle kollidere med hinanden, bærende konstruktioner eller andet. Man vil derfor, som tidligere nævnt, kunne spare tid på gennemgange og kontrol heraf ved at samle oplysningerne fra konstruktions- og installationsingeniøren i en model. Derefter kan der udføres en automatisk kollisionskontrol vha. forskellige programmer. Det vurderes på denne baggrund, at man også på internationalt plan finder det som en fordel at anvende denne del af BIM.

I forbindelse med en projektgennemgang kan det ligeledes blive uoverkueligt at holde styr på, hvilke og hvor mange bygningsdele der indgår. Hvis det er muligt at udtrække mængder direkte af bygningsmodellen, vil man derfor effektivisere denne proces væsentligt og samtidig være mere sikker på at få alle delene med i optællingen.

[1] Deltagende lande: Finland, Sverige, Norge, Holland og Danmark.
[2] Strategisk samarbejde mellem nationale programmer til fremme af bæredygtigt byggeri og drift af bygninger [21]

Undersøgelsen præsenterer desuden følgende tre fordele som de højest rangerede i forhold til IKT-investeringer:

- Forbedret kvalitet
- Arbejdet kan gøres hurtigere
- Forbedret information og kommunikation

Dette er sammenfaldende med de forventninger, man har med den modelbaserede arbejdsmetode i Danmark, hvilket vil fremgå af det efterfølgende afsnit.

[22] og [21]

6.1.2 Med hjemmelige briller

Analogt med den internationale undersøgelse har foreningen bips gennemført en undersøgelse i Danmark, for at skabe et overblik over status for anvendelsen af den modelbaserede arbejdsmetode herhjemme. Her spurgtes medlemmerne omkring gældende praksis, mål, forventninger i form af gevinster og barrierer i forhold til den modelbaserede arbejdsmetode. Resultatet af undersøgelsen viste en helt klar tendens, nemlig at der er en meget positiv tilgang til den modelbaserede arbejdsmetode, og at udviklingen kun går mod mere anvendelse heraf. Til sammenligning med fordelene, der blev nævnt i den internationale undersøgelse, peges der her på stort set de samme ting:

- Bedre kvalitet i byggeriet
- Mere optimal arbejdsproces (bl.a. tid)
- Kontrol og overblik

Respondenterne i undersøgelsen har desuden udpeget hvilke områder, hvor anvendelsen af bygningsmodeller vil være mest gevinstskabende. De højest rangerede områder er:

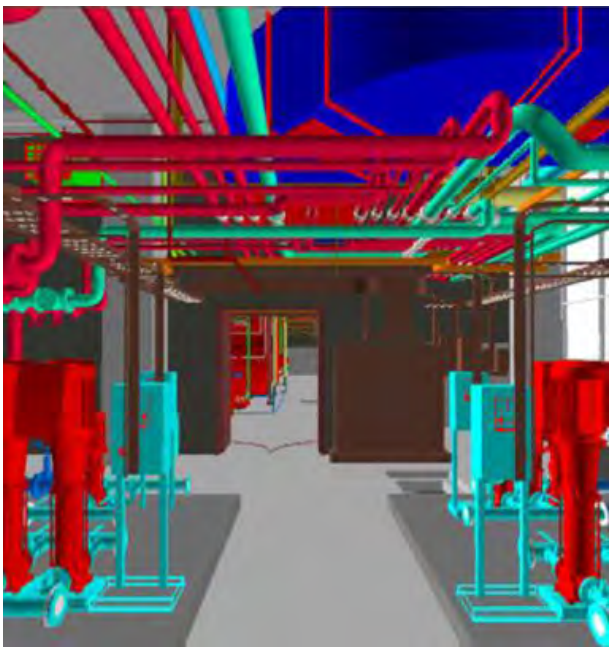
1. Kollisionstjek
2. Visualisering og forslagsmodellering
3. Samarbejde og koordinering på tværs af sagens parter
4. Styr på mængderne, udbudsgrundlag

Dette er samtidigt et meget godt udtryk for, på hvilke områder teknologien understøtter brugen af bygningsmodellen. Hermed menes, at jo bedre værktøjer, der findes til en anvendelsesmulighed ved bygningsmodellen, jo mere positivt og gevinstskabende vil man se på dette område. Modsat kan det være svært at se fordelene eller gevinsterne ved et område, hvor der ikke findes de nødvendige værktøjer, eller hvor disse er mangelfulde.

Det skal i denne forbindelse nævnes, at mængdeudtræk er rangeret som nummer fire, hvor området var blandt de to øverste i undersøgelsen fra Erabuild. Dette vurderes i denne rapport at kunne hænge sammen med, at man måske har bedre muligheder, rent teknologisk, for at udnytte dette i de øvrige respondentlande. En anden grund kunne være, at man bare generelt er længere fremme med udviklingen ved de udførende parter, der primært kan drage fordel af mulighederne for mængdeudtræk.

Kollisionskontrol

I forhold det mest gevinstskabende område findes der flere forskellige programmer til gennemførelse af kollisionstjek. Af ofte anvendte programmer kan nævnes Solibri Model Checker og Navisworks, hvor der på figur 6.2 kan ses et eksempel på en sammensat model i Navisworks. I programmet samles data fra forskellige modeller og derefter undersøges, om de forskellige objekter/elementer er placeret oveni hinanden. Målet med kontrollen er at give brugbare kollisionsresultater med et enkelt klik, og det er derfor nemt for brugerne at se de umiddelbare fordele og gevinster herved.



Figur 6.2 *Illustration af en sammensat model i programmet Navisworks.*

Visuelle virkemidler

Der findes til dags dato gode muligheder for at benytte den opbyggede komponentmodel til forskellige visualiseringer. Her vil man kunne drage fordel af mulighederne for at opstille forskellige løsningsforslag, som man bedre kan bedømme og tage beslutninger ud fra, da man bedre kan forestille sig, hvordan det visualiserede vil tage sig ud i virkeligheden.

Derudover vil det være muligt at anvende 3D-visualiseringerne som en form for imponator, og det kan så diskuteres, hvilken værdi dette vil have. I forhold til at vinde et byggeprojekt gennem en præsentation er der ingen tvivl om, at virksomheder vil kunne drage nytte af vellignende og imponerende 3D-bygningsmodeller. Endvidere kunne man forestille sig, at virksomheder kunne bruge det til at blive kendt som "dem med 3D-modellerne", hvilket kan anvendes i en mere generel branding og imagemæssig sammenhæng.

Man kan desuden forestille sig, at imponatoreffekten kunne anvendes i forbindelse med, at man skal forsøge at implementere den modelbaserede arbejdsmetode. Her vurderes det at være en fordel, at øjet først bliver imponeret over visualiseringen, da man herefter vil se mere positivt på anvendelsen af bygningsmodellerne.

[13]

Samarbejde

Samarbejde og koordinering er "kun" nummer tre på listen, hvilket kan skyldes, at der på dette område stadig ligger en stor opgave omkring udviklingen af teknologien, der skal understøtte området. Derudover er der en generel manglende tro på at "de andre parter" har evnen eller viljen til at arbejde modelbaseret, hvilket er angivet som nummer to på listen over de hyppigst nævnte barrierer. Så længe man ikke tror de andre hopper med på vognen, er det svært selv at se de store fordele ved arbejdsmetoden. Dette område vil blive behandlet yderligere i kapitel 7.

Barrierer

Medlemsundersøgelsen fra bips belyser også, hvilke barrierer der er i forbindelse med udviklingen. Her er de hyppigst nævnte indlæring, omskoling og efteruddannelse, hvilket er ressourcekrævende både i forhold til tidsmæssige og økonomiske aspekter. Her vil det være op til den enkelte virksomhed at vurdere hvilke medarbejdere, der skal efteruddannes samt hvornår og hvordan dette skal foregå.

En anden barriere er. at man oplever en manglende evne eller vilje hos de øvrige parter på et byggeprojekt, samt at der mangler en fælles metode og fælles standarder. Det vurderes, at en af måderne hvorpå dette kan påvirkes, er gennem bygherrekravene fra Det Digitale Byggeri, som byggeprojektets parter mere eller mindre er tvunget til at efterleve. Derudover vurderes det i denne rapport, at man kan løse mange af problemerne, der relaterer sig hertil, ved en åben dialog der kan munde ud i fælles aftaler. Dette behandles yderligere i afsnit 7.5.

Selvom der her er nævnt forskellige barrierer, er der ingen tvivl om, at undersøgelsen giver et positivt billede af udviklingen indenfor byggebranchen, hvor man definerer følgende 3 mål, som værende de vigtigste.

- Bedre kvalitet i byggeri
- Rationalisering af processen fra program til bygning i drift
- Bedre overblik

Det vil herefter blive behandlet, hvordan status er ved den rådgivende ingeniørvirksomhed Rambøll i Aalborg samt entreprenørfirmaet MT Højgaard.

[22]

6.2 På besøg i nutiden og fremtiden

Den nævnte medlemsundersøgelse fra bips påpeger, at det er rådgiverne, der skal være forandringsagenter og dermed være på forkant med udviklingen. Dette var også det overordnede indtryk efter et besøg ved Rambøll i Aalborg. Her er man generelt langt fremme indenfor anvendelsen af BIM, hvorfor der er i overskriften henvises til fremtiden. Dette skyldes en vurdering af, at mange af de ting, man gør ved Rambøll, vil være arbejdsmetoder, der i fremtiden implementeres hos andre ingeniørfirmaer.

Ved besøget blev der lavet et interview med konstruktionsingeniør Niels Risgaard Hansen, som også introducerede forskellige CAD-brugere med hver deres tilgang til arbejdet med 3D-modeller.

Det at arbejde med bygningsmodeller er efterhånden blevet en fast og integreret del af det daglige arbejde ved Rambøll i Aalborg. Dette underbygges af, at der udarbejdes en form for model ved 90% af projekterne. De resterende projekter vil typisk være for små til, at det kan betale sig at udarbejde en model, eller der kan være tale om en trækonstruktion, der ikke modelleres i programmet Tekla. Tekla er et finsk CAD-program, som man har valgt at satse på ved Rambøll. En af grundene hertil er, at projekterne ofte hovedsageligt indeholder stål og beton, hvilket Tekla egner sig bedst til. Derudover har man et godt samarbejde med udviklerne af programmet, hvorved man har mulighed for at komme med ønsker til nye muligheder, der kan gøre det daglige arbejde med projekteringen endnu bedre og nemmere.

Det faktum, at arbejdet med 3D-modeller er relativt nyt samt at der er så mange muligheder mht. detaljeringer osv. gør, at det tager længere tid at modellere en bygning i 3D set i forhold til den traditionelle 2D-arbejdsmetode. Det er dog kun selve opbygningen af modellen, der tager længere tid, og når man kigger på alle aspekter af modellen, vurderes det ved Rambøll, at det alt i alt er muligt at spare tid og ressourcer ved anvendelsen heraf. Dette begrundes med de nedenstående fordele, som man ser ved anvendelsen af bygningsmodellen.

- Færre fejl medfører færre rettelser
- Efter rettelser genereres nye tegninger automatisk
- Samarbejdet omkring problemstillinger optimeres
- Kommunikation over afstand gøres væsentligt nemmere

Ved at udnytte fordelen er det altså muligt at genvinde den ekstra tid, der er brugt på at udarbejde en 3D-bygningsmodel. Det skal i den sammenhæng nævnes, at det ikke er muligt at sige, hvad en typisk model indeholder, da der er stor forskel herpå, alt efter hvilke ønsker og krav, bygherren har til projektet. Der vil derfor også være forskel på hvor meget tid, der skal afsættes til modelleringen og hvilke fordele, man kan drage heraf.

Ved den besøgte afdeling i Rambøll anvender man generelt bygningsmodellen som grundlag for informationsudvekslingen. Her er der primært tale om, at der genereres tegninger udfra modellen, og derudover har man positive indtryk fra et forsøg, hvor man havde opstillet en computer med en bygningsmodel ude på byggepladsen. Endvidere har man draget fordele af en bygningsmodel ved et samarbejde med Østrigske arkitekter, hvor modellen har gjort det betydeligt nemmere at kommunikere og anskueliggøre, hvor i konstruktionen der er problemer, og hvad der skal tages stilling til.

Overordnet set venter Rambøll på, at de øvrige parter får bedre muligheder for at anvende bygningsmodellerne, hvormed disse bliver en form for ydelse, som den rådgivende ingeniør kan sælge til de øvrige parter. Man er dog allerede så tilfreds med de hidtige fordele, der opnås internt ved projekteringen, at man vil fortsætte udviklingen med den modelbaserede arbejdsmetode. En af de ting, som man internt drager stor fordel af, er muligheden for kollisionskontrol, hvor installationsingeniøren kan se, om der er plads til de ønskede rør og kanaler.

Der kan ikke konkluderes på, hvordan man generelt i rådgiverbranchen ser på udviklingen ud fra det gennemførte besøg og interview. Dette har haft til formål at belyse, hvordan status er ved en af forandringsagenterne, der er langt fremme på området.

For at man som rådgiver kan opbygge en bygningsmodel, der kan anvendes videre gennem byggeprocessen, er det nødvendigt at undersøge, hvilke krav entreprenørene stiller hertil. Dette vil der blive set på i det efterfølgende afsnit, hvor det ligeledes behandles, hvordan man generelt ser på anvendelsen af bygningsmodeller fra entreprenørens side.

[18]

6.3 Positiv holdning og vilje ved entreprenøren

For at undersøge det næste led i byggeprocessen, er der gennemført fem interviews med forskellige personer fra entreprenørfirmaet MT Højgaard, der kan varetage den udførende del i af processen. For at give så bredt et grundlag som muligt, er der udvalgt personer med forskellige arbejdsopgaver, stillinger og indgangsvinkler til anvendelsen af bygningsmodeller.

- Rikke K.T. Kruhøffer - Turnusingeniør
- Per Olesen - Formand
- Brian Sørensen - Byggeleder
- Per Andreasen - Afdelingschef, Renovering
- Peter Bo Olsen - IT-forretningsudviklingschef

Formålet med interviewene har været todelt, nemlig at få en status på anvendelsen af bygningsmodeller, og finde ud af hvilke krav man stiller hertil, samt en status for informationsudvekslingen og hvordan man ser denne udviklet i fremtiden. Sidstnævnte vil blive behandlet yderligere i de efterfølgende kapitler. Den viden, der er opnået gennem de forskellige interviews, har givet et indblik i den generelle status, mulige fordele ved anvendelsen af bygningsmodeller og barrierene for at fremme udviklingen.

6.3.1 Generel status

MT Højgaard udfører i øjeblikket et forsøgsprojekt ved opførelsen af tinglysningsretten i Hobro, hvor man bl.a. ønsker at høste erfaringer med at anvende en bygningsmodel til at visualisere, hvordan bygningen ønskes opført. Udover dette forsøgsprojekt har de interviewede ikke det store kendskab til den modelbaserede arbejdsmetode, men de ser generelt meget positivt på mulighederne og fordelene ved at anvende en bygningsmodel. Spørgsmålene omkring anvendelsen af bygningsmodeller er derfor drejet over på at omhandle fremtidsmulighederne, krav hertil og ønsker herom.

6.3.2 Kritiske konstruktionsområder

En af de nævnte fordele ved anvendelsen af en bygningsmodel vil være muligheden for nemmere at kunne gennemgå og overskue den samlede bygning. På denne måde vil det være nemmere for entreprenøren at finde fejl og mangler i den tænkte opbygning. Derudover kan man også stille opklarende spørgsmål til såkaldte kritiske områder, hvor der kan være tvivl om, hvordan tingene skal laves eller se ud. I den forbindelse gælder det om, at få entreprenøren på banen så tidligt i byggeprocessen som muligt. Hermed vil denne nemlig få mulighed for at komme med input til den konstruktive opbygning og finde eventuelle kritiske områder, hvor det forudses at der kan opstå problemer, mens det stadigt er muligt og mere omkostningsfrit at lave ændringer.

I praksis er det en ønskelig situation, at en formand på en byggesag vil kunne være ude på byggepladsen og styre det igangværende byggeri, samtidig med at det er muligt at gå ind på computeren og granske forslag til bygningsmodeller for kommende byggeprojekter. På denne måde vurderes det at der vil opnås et mere dynamisk samarbejde gennem byggeprocessen, hvor en tidlig informationsudveksling vil være til gavn for den samlede byggeproces.

[23] og [24]

6.3.3 Visuel forståelse

Det at kunne se tingene for sig er ikke altid helt nemt, og på netop dette område ser man meget positivt på visualiseringer fra en bygningsmodel. Her er det nemmere at forstå sammenhængen, især hvis der er tale om en kompliceret geometri. Omkring pladsstøbte konstruktioner, har man gode erfaringer med at lade betonfolkene se modellen for fundamenterne, da det her ud fra er nemmere at forstå, hvor og hvordan spring i fundamentshøjden skal udføres.

I det hele taget ses det at kunne navigere rundt i en bygningsmodel, som en af de helt store fordele. Dette skyldes, at det kan være med til at nedbringe antallet af misforståelser og dermed risikoen for fejl ved det opførte.

[25]

6.3.4 Tidsplanlægning og mængdeudtræk

En stor del af arbejdet for entreprenøren omkring et byggeprojekt omhandler tidsplanlægning og bestilling af materialer. Man ser derfor også en stor fordel ved, i fremtiden, at kunne tilknytte det tidsmæssige aspekt til en bygningsmodel. Herved vil man få bedre muligheder for at styre byggeriet og det vil blive nemmere at anskueliggøre, hvad der skal opføres indenfor en given tidsperiode, da man kan vise det med bygningsmodellen. Desuden vil man kunne se, hvilke dele af bygningen, der er afgørende for, om der kan fortsættes med øvrige arbejder og dermed også, hvor det vil være en fordel at forsøge at forcere arbejdet for at indhente et eventuelt tidstab i forhold til den samlede byggetid.

I forhold til bestilling af materialer vil det være ønskeligt at kunne udtrække mængdefortegnelser af bygningsmodellen. Dette vil betyde en væsentlig forbedring af denne arbejdsgang, der vil blive mere effektiv, hvis det er til at stole på de angivne mængder. For at kunne dette skal elementerne i bygningsmodellen klassificeres, så de entydigt kan genkendes. Der er blevet sat fokus på arbejdet omkring Dansk Bygge Klassifikation (DBK) gennem sammenslutningen Digital Konvergens, der afprøvede anvendeligheden af DBK i maj/juni 2008. Denne undersøgelse viste, at DBK, med den nuværende færdiggørelsesgrad, de nuværende ressourcer og den nuværende brancheopbakning, ikke har stor sandsynlighed for at blive en vindende standard i Danmark. Derfor har man stillet en række krav i forhold til udviklingen af DBK, som skal opfyldes før de syv store virksomheder bag Digital Konvergens kan tilslutte sig anvendelsen af klassifikationen fuldt ud. Emnet DBK vil ikke blive behandlet yderligere i dette projekt, her fastslås det blot, at man også kan drage nytte af bygningsmodellen i denne forbindelse, hvis klassifikationen og mængdeudtrækket er brugbart. [26]

Økonomi hænger sammen med både tids- og materialemæssige aspekter af en byggesag, og i den forbindelse ses der også fordele ved, i fremtiden, at kunne tilknytte prisoplysninger til modellens dele. Herved vil det være muligt at kontrollere, om man har fået det hele med i sin tilbudskalkulation, og det vil samtidigt være muligt at holde styr på, om det man er ved at opføre egentligt er det samme, som det man har givet tilbud på. Det er næsten uundgåeligt, at der sker ændringer af et byggeprojekt, og dermed også bygningsmodellen, efter der er givet tilbud. Det vil derfor være relevant for entreprenøren at kunne sammenholde det oprindelige tilbud med den endelige bygning vha. ændringerne foretaget løbende i bygningsmodellen.

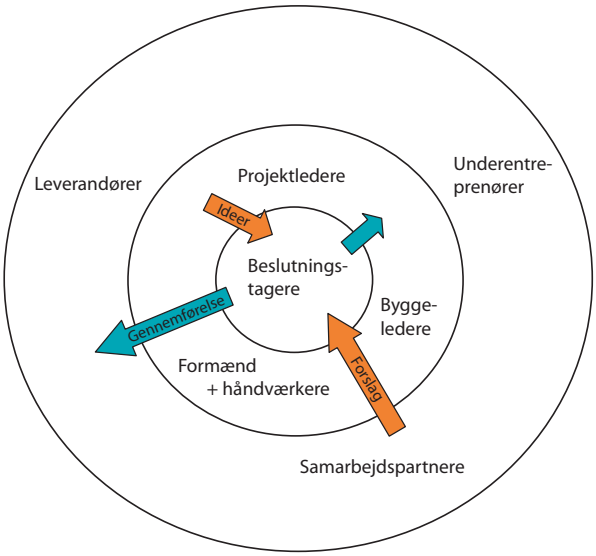
[23] og [25]

6.3.5 Manglende modenhed

Ud fra interviewene vurderes det, at den største barriere for at gå over til en modelbaseret arbejdsmetode er manglende modenhed. Med modenhed menes, at det er nødvendigt at den samlede byggebranche bliver mere villig, indstillet og parat til at arbejde ud fra en bygningsmodel. Herunder kan eksempelvis nævnes, at man efteruddanner medarbejdere og investerer i nye programmer. Der er utroligt mange aktører involveret i et byggeprojekt og det vil være nødvendigt, at de alle i mere eller mindre grad bliver gearet til denne arbejdsmetode. Der påpeges en række forskellige ting, som kan være med til at udvikle modenheden.

- Forsøgsprojekter
- Vidensdeling
- Uddannelse
- Nye medarbejdere
- Bedre teknologi/IT-muligheder
- Fælles standarder og aftaler
- Ændringer i rollefordelingen

En del af disse områder vil kræve økonomiske tiltag fra virksomhederne, men det vurderes at være lærepenge, man er villige til at give ud, hvis man kan se et klart formål og en gevinst ved investeringerne. Gennemførelsen af udviklingen starter ved beslutningstagerne, der er placeret i midten af en såkaldt udviklingscirkel, der er udarbejdet på baggrund af interviewene. Denne kan ses på figur 6.3. Figuren skal forstås på den måde, at ideer og forslag vil/kan komme fra de yderste ringe og gå indad, hvilket er symboliseret med orange pile. Gennemførelsen af den valgte strategi eller arbejdsmetode er symboliseret med de blå pile, der starter i midten og breder sig derefter ud i organisationen. Eksempler på øvrige byggesagsaktører er medtaget i den yderste cirkel.



Figur 6.3 *Illustration af en udviklingscirkel for den modelbaserede arbejdsmetode.*

For at drive udviklingen fremad er det nødvendigt at anskueliggøre fordelene herved for beslutningstagerne, hvilket f.eks. kan gøres gennem erfaringsopsamlinger fra vellykede projekter, og ved at fremhæve de gode eksempler. I forhold til udviklingscirklen bliver det sværere og sværere at gennemføre og styre den ønskede udvikling, jo længere fra midten man kommer. For f.eks. at få den sidste cirkel med kræver det, at der udarbejdes fælles standarder og aftaler.

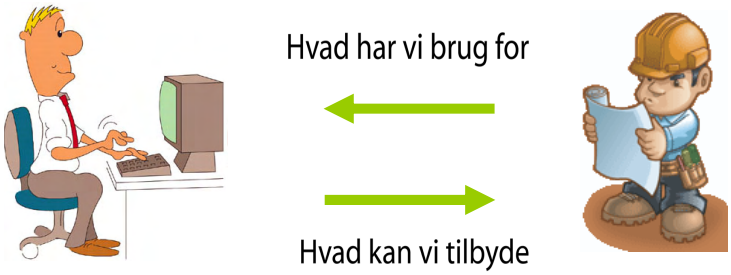
[27]

6.4 Opsummering

I dette kapitel er status for anvendelsen af bygningsmodeller blevet undersøget, og det kan opsummeres, at man i rimelig udstrækning er klar på rådgiversiden, repræsenteret ved Rambøll i Aalborg, mens man på entreprenørsiden, repræsenteret af MT Højgaard, er mere afventende og forholder sig til, hvilke krav bygherren stiller. Begge parter ser yderst positivt på mulighederne med en modelbaseret byggeproces, og de ønsker at udviklingen går mod, at man i højere grad anvender bygningsmodeller.

Rådgiveren, der i forvejen udarbejder bygningsmodeller, har et ønske om, at entreprenøren i højere grad får mulighed for at drage nytte heraf, da modellen hermed vil opnå en større værdi for rådgiveren, der kan sælge den videre til anvendelse gennem udførelsesfasen. Entrepøren mener, at jo mere effektivt arbejdet på byggeprojektet mht. tidsplanlægning, økonomistyring, materialebestillinger osv. bliver, jo mere tid vil der blive til at lave tilsyn og kontrollere, at tingene foregår som forudsat. Dette vil så resultere i endnu mindre fejl, der giver endnu bedre kvalitet i byggeriet.

For at bevæge sig i en retning, hvor udviklingen kommer alle til gode, vurderes det at være nødvendigt, at parterne hele tiden forholder sig til produktet "en fælles bygningsmodel", hvilket er forsøgt illustreret på figur 6.4. Rådgiveren har til opgave at fortælle entreprenøren, hvad man kan tilbyde gennem modellen. Modsat har entreprenøren til opgave at fortælle, hvad man har brug for, og det er så op til rådgiveren at forsøge at leve op til disse krav og forventninger. Der vil altså være tale om en løbende proces, der hele tiden er mulig at forbedre og udvikle.



Figur 6.4 *Illustration af de løbende afklaringer, der er nødvendig for at fremme udviklingen.*

Fremtidsmulighederne indenfor dette område er dog så store og mangeartede, at det kan være svært at se, hvor udviklingen går henad, og hvor man skal satse. Derfor ønsker man fra entreprenørens side, i en vis grad, at se tiden an og holde sig klar til at kunne være med på modelbaserede byggeprojekter. Man ønsker altså at arbejde mod at indgå i en modelbaseret byggeproces, men er også klar over, at dette ikke kan lade sig gøre fra den ene dag til den anden. Dette hænger sammen med modenhedsbarrieren, som vurderes at blive nedbrudt lige så stille med tiden. Det er svært at sætte et tidsperspektiv herpå, da det også afhænger af, hvilke krav, der stilles til den modelbaserede arbejdsmetode. Her tænkes f.eks. på om man forlanger, at alle aktører i et byggeprojekt arbejder modelbaseret. Desuden påpeges det, at udviklingen kræver, at de rådgivende ingeniørvirksomheder går forrest.

Efter at have præsenteret status på anvendelsen af bygningsmodellerne, vil det næste kapitel gå mere i dybden med mulighederne for at udvikle informationsudvekslingen mellem parterne.

Bygningsmodeller og informationsudveksling

7

Formålet med dette kapitel er at se nærmere på den del af den modelbaserede arbejdsmetode, der omhandler udveksling af informationer. Her sættes fokus på, hvordan dette traditionelt foregår mellem rådgiveren og entreprenøren, og hvordan man forsøger at påvirke udviklingen fra forskellige sider.

For at følge op på den præsenterede status fra forrige kapitel, vil dette og det næste kapitel sætte fokus på en del af problematikken omkring samarbejdet mellem de involverede parter i en byggeproces. At dette er nødvendigt, understøttes af en undersøgelse fra 2008, som er udarbejdet af Athena IT-GROUP, der fastslår, at netop samarbejde er den sværeste disciplin ved et byggeprojekt. I forlængelse heraf mener 96% af respondenterne, at IT-løsninger, herunder BIM, kan hjælpe med til at overkomme udfordringerne. Samme undersøgelse viser at 7 ud af 10 firmaer overvejer at integrere BIM-teknologi i arbejdsgangene. [28]

Her afgrænses til at behandle informationsudvekslingen mellem den rådgivende ingeniør og den udførende entreprenør, hvor den gældende praksis på området først vil blive belyst. Derefter behandles, hvordan udviklingen præges af Det Digitale Byggeri og foreningen bips. Man kan sige at det overordnet ønskes belyst, om der er basis for at anvende en 3D-bygningsmodel, som grundstammen for informationsudvekslingen mellem den rådgivende og udførende part i et byggeprojekt. For at gøre dette skal følgende fastlægges:

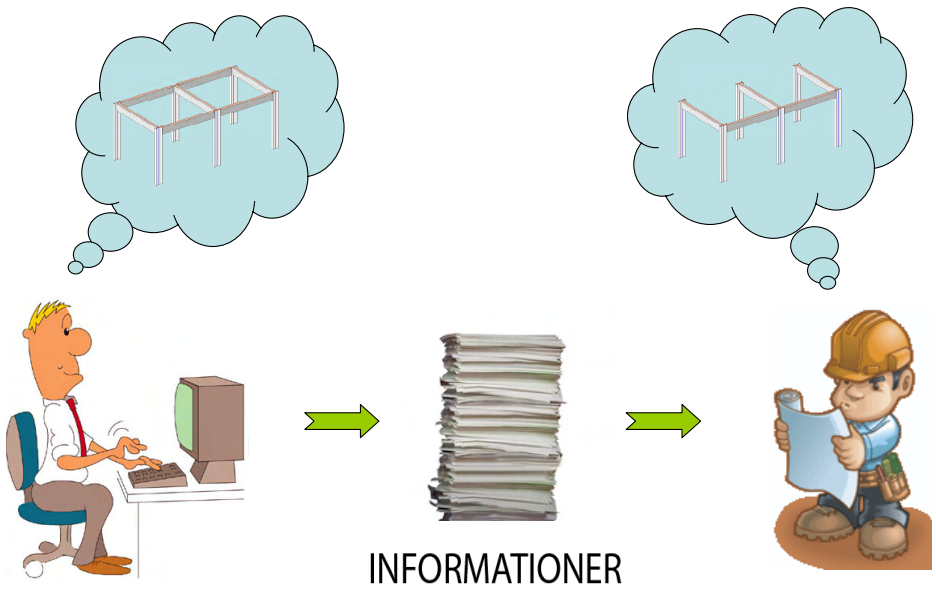
1. Hvad udveksles?
2. Hvem er afsender og modtager?
3. Hvordan foregår udvekslingen på traditionel vis?
4. Hvad går udviklingen mod?

For at svare på disse spørgsmål er der, som nævnt i metodeafsnittet, udført en række interviews omkring informationsudvekslingen, hvorigennem tendenser for den gældende praksis er undersøgt.

7.1 Hvad skal udveksles

Det er tidligere fastslået, at to vigtige dele af en projekteringsopgave både er det at dimensionere bærende konstruktioner, og den efterfølgende formidling af resultaterne. Helt grundlæggende handler denne formidling om, at rådgiveren har en række informationer, som skal gives videre til den udførende part. Informationerne formidles traditionelt gennem tegninger, beskrivelser, udførelsesanvisninger og lignende, hvilket skal munde ud i, at den konkrete bygning bliver opført, som det var tiltænkt.

Traditionelt set har rådgiveren stået for udarbejdelsen af informationsmaterialet, hvor man vha. tegninger med planer, snit og detaljer samt beskrivelser har forsøgt at fremstille bygningen på papir. Dette har stillet krav til både rådgiver og den udførende om at være i stand til at "se tingene for sig", hvilket vil sige at man skal kunne danne sig et indtryk af, hvordan den rummelige bygning skal opføres ud fra todimensionelle tegninger. På figur 7.1 er det forsøgt illustreret, hvordan rådgiveren har et rummeligt billede af konstruktionen, som derefter formidles via 2D-tegninger og beskrivelser mm. til entreprenøren, der herudfra ligeledes skal danne sig et rummeligt billede af konstruktionen.



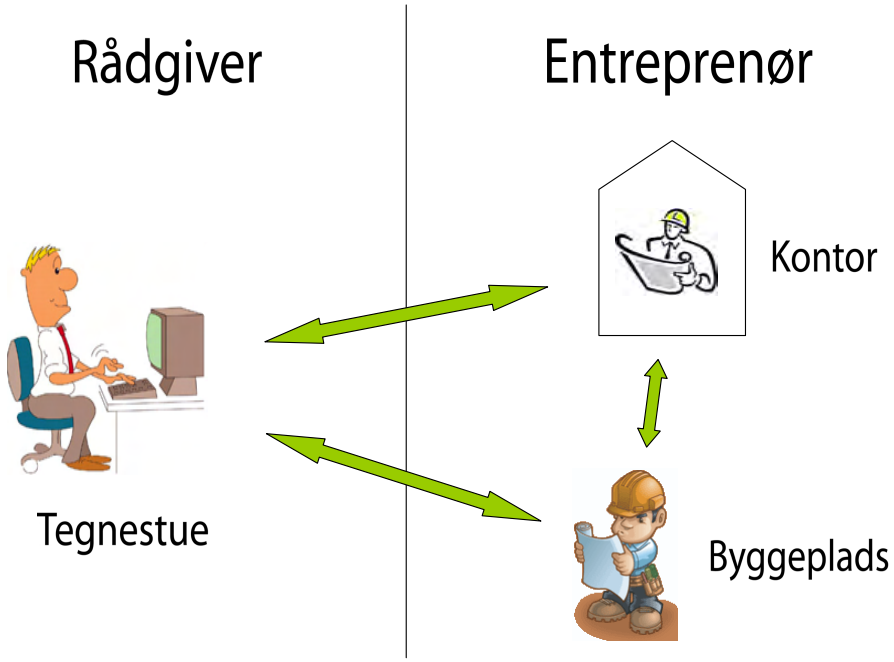
Figur 7.1 *Illustration af proceduren ved den traditionelle informationsudveksling mellem afsender og modtager.*

Udfordringen, ved at informationsudvekslingen foregår gennem 2D-tegningsmateriale og beskrivelser, er selvfølgelig at skabe overensstemmelse mellem den måde, hvorpå de to parter tænker konstruktionen opbygget.

[20] og [13]

7.2 Hvem er afsender og modtager

Efter at have fastslået at det handler om udveksling af informationer gennem tegninger og beskrivelser, er det herefter relevant at se på, hvilke parter denne udveksling foregår imellem. Hidtil i denne rapport er disse aktører i udvekslingsprocessen blevet henvist til, som den rådgivende ingeniør og den udførende entreprenør. På den udførendes side skælnes der her mellem en del kaldet kontoret, og en anden del kaldet byggepladsen. Opdelingen er lavet ud fra den viden, der er opnået gennem interviewene med MT Højgaard, og den fremgår af figur 7.2. Dette er gjort for bedre at kunne beskrive, hvordan informationerne bevæger sig mellem aktørene. Herudover kunne man opdele aktørene på byggepladsen i egenproduktion og underentreprenører, men for overblikkets skyld er det valgt foreløbigt at betragte alle aktørene på byggepladsen samlet.



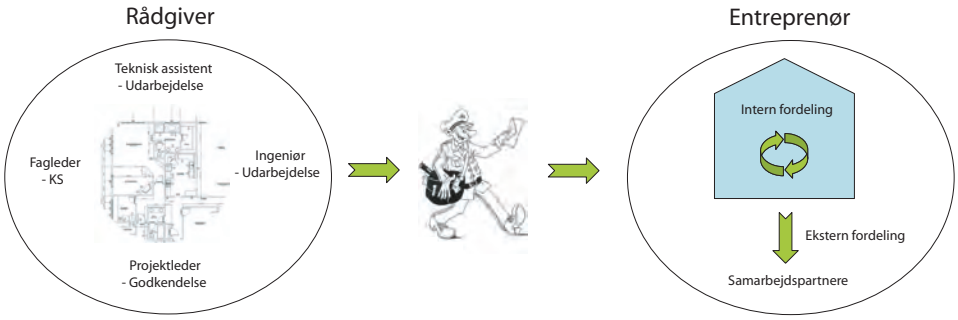
Figur 7.2 *Illustration af de deltagende aktører i informationsudvekslingen.*

7.3 Hvordan foregår udvekslingen

Det sidste, som skal fastlægges for at danne et billede af den gældende praksis for udveksling af informationer mellem de præsenterede parter, er, hvordan informationen kommer fra afsenderen til modtageren. Her har man i mange år anvendt almindelige postforsendelser, som senere mere eller mindre er blevet erstattet af elektronisk post eller anvendelsen af en fælles server, hvor tegningerne kan uploades og downloades.

I forbindelse med den traditionelle fremsendelsesprocedure går der meget tid med først at producere og tilrette tegningerne, som derefter skal godkendes og printes. Endvidere skal der laves et følgebrev, inden det hele kan sendes ud til byggepladsen eller entreprenørens kontor. Der ligger altså en masse arbejde bag den tegning, som entreprenøren får i hånden, og en del af dette arbejde har ikke direkte noget at gøre med stregerne på tegningen.

En af grundene til, at der er en masse ting, der skal være styr på, er, at den udsendte tegning er gældende fra den dato, den er stemplet. Der er dermed en masse juridiske faktorer, som man hele tiden skal have for øje med hensyn til udvekslingen af oplysninger. På figur 7.3 er det forsøgt at illustrere en form for livscyklus for en konstruktionstegning. Den starter med at blive udarbejdet på tegnestuen, hvor der er en række aktører/medarbejdere, som den skal igennem. Derefter sker den egentlige udveksling, hvor tegningen i dette eksempel sendes til entreprenørens kontor. Her printes og/eller destribueres tegningen til interne og eksterne parter, der skal bruge den i forhold til det konkrete byggeprojekt.



Figur 7.3 *Illustration af livscyklus for en information i form af en tegning.*

Ved MT Højgaard har man i de fleste tilfælde mulighed for at printe A4 tegninger ude på byggepladsen, og på enkelte store byggesager har man derudover mulighed for at plotte store tegninger ude på pladsen, hvilket mindsker omfanget af intern manuel transport af tegningsmaterialet. På de fleste sager er det dog nødvendigt at sende tegningerne omkring kontoret, hvor de bliver plottet og fordelt fra. [25]

Ved at udveksle tegningerne elektronisk sparer man minimum en dag i forhold til forsendelse med posten, og hvis man derudover kunne skære ned på tiden, der bruges til andet end at producere og godkende tegningerne, vil man opnå en mere effektiv proces. Dette vil blive behandlet yderligere i det efterfølgende kapitel. Omkring den beskrevne praksis skal det nævnes, at der selvfølgelig vil være forskel på, hvordan denne informationsudveksling foregår afhængigt af byggeprojektet og parterne samt hvilken entrepriseform der er gældende.

I forhold hertil skal det også nævnes, at en anden vigtig måde at udveksle oplysninger og informationer er gennem afholdelse af møder. Gennem udførelsesfasen afholdes byggemøder omhandlende status og fremdrift for byggeriet, fælles koordinering og tidsplanlægning for fremtiden. Derudover afholdes et antal øvrige møder, der f.eks. kan omhandle sikkerhed på byggepladsen eller status for en enkelt faggruppe. Dette område er nærmest et studie i sig selv og der er derfor ikke fundet plads til at behandle det yderligere i denne rapport. [24]

Efter at have fastlagt den gældende praksis, vil det efterfølgende afsnit belyse, hvad man gør fra forskellige sider for at drive udviklingen omkring informationsudvekslingen fremad.

7.4 Krav fra Det Digitale Byggeri

Der er flere forskellige aktører, som forsøger at præge udviklingen omkring, hvordan man samarbejder i byggeriet og herunder, hvordan man udveksler oplysninger. Dette kan bl.a. skyldes, som nævnt igennem rapporten, at det er netop omkring kommunikationen og samarbejdet, at der er behov for forbedring set i forhold til at skabe et mere effektivt byggeri. Der vil derfor her blive set på, hvilke krav fra Det Digitale Byggeri, der omhandler informationsudvekslingen, og som har til formål at skabe en bedre basis herfor.

7.4.1 Uddrag af bygherrekrav

Med indførelsen af bygherrekravene har man fra statens side forsøgt at præge udviklingen mod et mere digitaliseret og dermed forhåbentligt mere effektivt byggeri. Følgende krav har direkte betydning for informationsudvekslingen, hvor det forudsættes, at der er tale om et statsligt byggeri til over 20 mio. kr.:

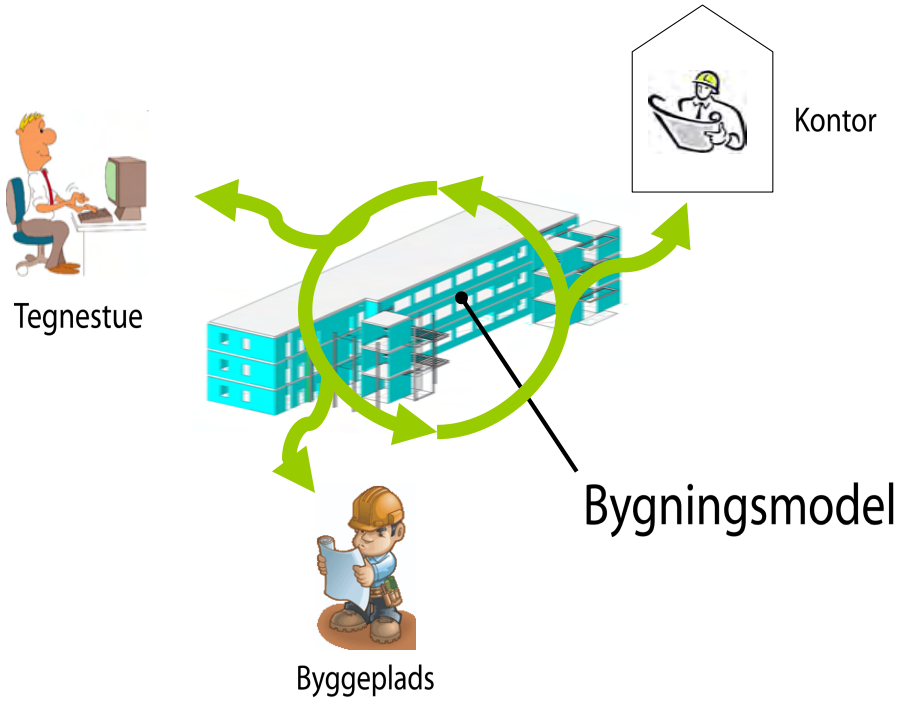
- Bygherren skal sikre, at der stilles en effektiv og sikker projektwebløsning til rådighed for de involverede parter
- Tegninger skal kunne printes i A3
- De projekterende skal opbygge en digital bygningsmodel af byggeprojektet, og denne skal kunne udveksles i IFC-formatet

De samlede ti bygherrekrav blev gjort lovgældende gennem IKT-bekendtgørelsen fra 2007. Overordnet set vil disse krav betyde, at man grundlæggende skal ændre på den måde, man er vant til at arbejde, da det er nødvendigt at gå fra en 2D-baseret arbejdsmetode til en 3D-arbejdsmetode. Ved denne metode skal informationerne samles i en bygningsmodel, der skal kunne udveksles som en IFC-model. Derudover skal der anvendes et projektweb til selve informationsudvekslingen mellem parterne, hvilket vil blive beskrevet nærmere i det efterfølgende.

7.4.2 Projektweb og bygningsmodel

Gennem byggeprocessen skal en række informationer, som nævnt, udveksles mellem de involverede parter. Her er det et krav, at man går fra almindelig eller elektronisk post til at anvende en fælles projektweb over internettet. Her udveksles bygningsinformationer og dokumentation mellem byggeprojektets parter, og det er derfor en grundlæggende forudsætning, at alle har adgang til projektwebben til alle tider. For den optimale udnyttelse heraf er det nødvendigt, at alle parter er villige til at anvende dette værktøj, så der ikke bliver tale om endnu en kanal til informationsudveksling, men derimod om den eneste kanal hertil.

Med anvendelsen af et fælles fildelingsværktøj, som et projektweb, vil man ændre på den måde, hvorpå man kommunikerer og samarbejder. Dette skyldes bl.a. at der ikke længere vil være tale om et traditionelt setup med en afsender og modtager. Derimod er det tiltænkt, at parterne kan lægge filer, f.eks. i form af dokumenter og/eller bygningsmodeller, op til fælles anvendelse. På figur 7.4 er det illustreret, hvordan en fælles bygningsmodel indeholder informationerne, som de forskellige parter kan hente, når de skal bruge dem. Bygningsmodellen kan placeres på projektwebben sammen med de tilhørende dokumenter.



Figur 7.4 *Illustration af en bygningsmodel som grundlag for informationsudvekslingen. Denne kan være placeret på en fælles projektweb.*

Den beskrevne metode medfører, at man skal have IT-værktøjer på byggepladsen, hvor en grundlæggende ting er muligheden for at komme på internettet, så man kan få adgang til projektwebben. Anvendelsen af projektweb er nedfældet i de tre første af de ti bygherrekrav. Her er rammerne for brugen heraf fastlagt, og et af kravene er, at man skal kunne udskrive alle produktionstegninger, så de er læsbare i A3 størrelse eller mindre. For at opnå det fulde udbytte herved skal det være muligt at udskrive tegninger på byggepladsen, hvor de skal bruges. Kravet om A3-tegningsstørrelsen stiller krav til den projekterende ingeniør, som hele tiden skal have dette for øje.

Det overordnede formål med projektwebben er, at de relevante parter har adgang til det nyeste opdaterede projektmateriale. Det er hensigten at alle henter de samme oplysninger fra det samme sted, hvorved det skal undgåes, at der er forskellige tegningsversioner, der florerer rundt ved de forskellige parter. Der udnævnes en ansvarlig projektleder, der skal sørge for at holde styr på projektwebben. Hvis denne skal fungere efter hensigten, skal der opsættes en række spilleregler og en disciplin omkring, hvordan de forskellige procedurer skal foregå. Der er desuden en række regler og procedurer omkring oprettelsen af brugere og tildeling af, hvor meget de enkelte har adgang til. Ved nogle projekter er det f.eks. ikke nødvendigt/tilladt at en VVS-ingeniør har adgang til økonomiske oplysninger omkring byggesagen.

Ved MT Højgaard har man gode erfaringer med at anvende en projektwebløsning til at holde styr på dokumentationen ved en byggesag. Det er dog hovedsageligt mailhåndteringen og -formidlingen, der gør dagligdagen nemmere, mens upload af tegninger og modeller virker som en tung og langsom proces. En af fordelene herved er dog at det er muligt at kontrollere om alle har været inde og se den opdaterede tegning. [20]

En anden effekt ved anvendelsen af projektweb vurderes at være det, at man skaber et fælles grundlag for samarbejdet gennem byggeprocessen og dermed en mulighed for at få en mere dynamisk byggeproces. Hvis man koordinerer dette værktøj med nye samarbejdsformer som f.eks. partnering, får man mulighed for eksempelvis at inddrage de udførende parter tidligere i byggeprocessen, og dermed få deres input og overvejelser omkring byggeprojektet. Entreprenøren skal altså ikke sidde og vente på at få tilsendt projektmateriale, men kan selv aktivt gå ind på projektwebben og følge med i, og bidrage til, udviklingen af byggeprojektet.

Kendskabet til Det Digitale Byggeri er endnu ikke nået ud til alle dele af byggebranchen, hvilket vurderes at hænge sammen med den præsenterede modenhedsbarriere. Det må antages, at flere dele af branchen får større kendskab til IT-kravene, eftersom der bliver gennemført flere statslige projekter, hvor disse skal overholdes. Det vurderes endvidere i denne rapport, at der vil være en naturlig modstand mod gennemførelsen af forandringer, da man helst vil gøre tingene som man plejer, og samtidig er nye arbejdsmetoder ofte forbundet med en vis utryghed. Dette er en væsentlig del af den modenhedsbarriere, der skal overvindes på vejen mod et mere digitaliseret byggeri.

[5] og [6]

7.5 Hjælp fra bips

Brancheforeningen bips er en aktør, der forsøger at samle byggesektorens kræfter på tværs af branchen, for at man derigennem kan sætte fokus på behovet for, og udviklingen af, informationsteknologien, produktiviteten og samarbejdet i byggeriet. Foreningen står bag en række publikationer og undersøgelser, som omhandler disse emner. Gennem den præsenterede medlemsundersøgelse blev det påpeget, at bips skal have ansvaret for udarbejdelsen af det fælles grundlag for CAD-arbejdet. I den forbindelse er det her valgt, at se nærmere på den nyeste CAD-manual og IKT-aftalen. [22]

7.5.1 CAD-manualen 2008

For at skabe et fælles grundlag og retningslinjer for arbejdet med CAD-værktøjer har bips udgivet manualer med netop dette formål. Den seneste er fra 2008, og formålet hermed er egentligt beskrevet meget godt i forordet:

> *Når et cad-samarbejde struktureres på samme måde fra projekt til projekt, bliver kommunikationen mellem samarbejdsparter mere entydig, og der kan opnås større produktivitet og bedre kvalitet.*

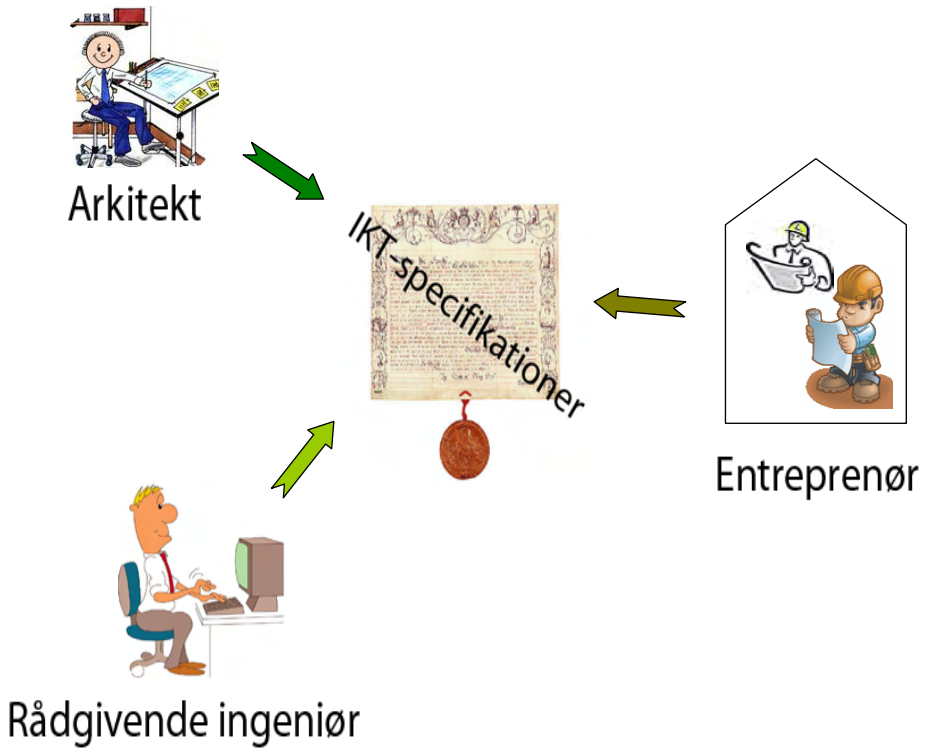
Manualen danner grundlag for cad-produktionen, strukturering og brug af bygningsmodeller samt udveksling af oplysninger. Specielt den sidste del er relevant i forhold til problemstillingen i denne anden del af rapporten. Manualen fastlægger, hvordan modellerne skal udveksles og især hvem, der har ansvaret for hvad.

Udfordringen ved at præge CAD-samarbejdet gennem en sådan manual er, at mange hurtigt finder deres egen måde at gøre tingene på, som de hver især synes er nemmere. Det er derfor en stor opgave at skabe fælles retningslinjer, som alle kan forstå og efterleve. Hermed er det også sagt, at vejen mod opfyldelse af det præsenterede formål kræver stor disciplin af de involverede parter, samt at retningslinjerne fastlægges ved nedskrevne aftaler. Dette vil der blive set nærmere på i næste afsnit.

[10]

7.5.2 Anvendelse af en fælles IKT-aftale

Et skridt på vejen til at nedbryde nogle af barrierene ved den modelbaserede arbejdsmetode gennem byggeprocessen er, at man i fællesskab laver en aftale om IKT-specifikationerne. Her er det muligt for de forskellige parter at byde ind med, hvilke krav de måtte have til den eller de modeller, som de skal modtage. På denne måde forsøges at opnå konsensus parterne imellem, så alle er indforstået med retningslinjerne, og hvad de kan forvente af de andre. På figur 7.5 er det illustreret, hvordan byggeriets parter, her repræsenteret ved arkitekten, den rådgivende ingeniør og entreprenøren, hver især kan/skal komme med input til specifikationerne. De forskellige parter vil ofte have forskellig baggrund og indgangsvinkel til den modelbaserede arbejdsmetode, hvilket betyder, at de både skal gøre de øvrige parter opmærksomme på, hvad de kan samt hvad de forventer, at de andre leverer eller yder. Forskelligheden er på figuren symboliseret ved forskellige farver på pilene.



Figur 7.5 *Illustration af hvordan de forskellige parter skal byde ind med krav og ønsker til de fælles retningslinjer.*

Ved at parterne selv deltager aktivt i at opnå en overensstemmelse, er der også større sandsynlighed for, at de fælles retningslinjer herefter bliver overholdt. Samtidig nedbrydes mange forestillinger om, hvad de andre kan, vil og ikke vil, da man har dette nedfældet på papir. Derfor vil der formentligt også være en større tro på, at "de andre" leverer det de skal, og hermed må det formodes, at en del skepsis og mulige frustrationer parterne imellem fjernes.

En del af det fælles aftalegrundlag vil være basisbeskrivelsen for IKT-ydelsesspecifikation. For at give et eksempel på indholdet af basisbeskrivelsen er der her medtaget retningslinjerne omkring anvendelsen af projektweb.

1. Al digital udveksling af dokumenter mellem projekterende, excl. leverandører der projekterer, skal foregå via projektweb.
2. Anvendelsen af projektweb gælder for alle parter, der er involveret i udførelsen.
3. Omfanget af internet og A3-printfaciliteter på byggepladsen skal specificeres i byggesagsbeskrivelsen og/eller arbejdsbeskrivelser.
4. Projektwebben skal:
   - Have en brugerflade, som understøtter byggesagens arbejdssprog
   - Danne historik over dokumenter, brugere og handlinger
   - Kunne vise dokumenterne i en bestemt statusgruppe
5. Forpligtelsen til at tilvejebringe en projektweb omfatter både anskaffelse og drift gennem den aktive periode.
6. "Fri adgang til projektweb" betyder, at hver part vederlagsfrit får tildelt et tilstrækkeligt antal brugere og tilstrækkelig plads. Hvis parterne skal betale for brug af projektweb, er den part, som tilvejebringer projektweb pligtig til at oplyse enhedspriser til brug for parternes beregning af tilbud.

Analogt hermed fastlægges retningslinjerne for øvrige områder, der er nødvendige for at skabe et godt fælles grundlag for IKT-samarbejdet. Her kan eksempelvis nævnes CAD-forhold og digital aflevering.

[29] og [30]

7.6 Opsummering

Dette kapitel har sat fokus på den del af samarbejdet i byggeprocessen, der omhandler informationsudveksling mellem rådgiver og entreprenør. Her er der gjort rede for, hvordan dette traditionelt er foregået gennem tegninger og beskrivelser, der udveksles via post eller mail. Denne procedure ønskes ændret, hvilket både omfatter, hvad der skal udveksles, og hvordan dette skal gøres. Gennem Det Digitale Byggeri er der formuleret en række statslige bygherrekrav, som man håber vil danne præcedens for udviklingen indenfor den samlede byggebranche.

Informationsudvekslingen skal have basis i en fælles projektweb, hvor dokumenter, tegninger og modeller mm. placeres til fælles anvendelse. Derudover har foreningen bips udarbejdet vejledninger, som skal hjælpe virksomhederne med, hvordan det digitale samarbejde konkret skal foregå. En vigtig del er udarbejdelsen af fælles aftaler omkring IKT-specifikationerne. Herefter behandles konkrete værktøjer, der kan anvendes i forbindelse med informationsudvekslingen.

8 Informationsudveksling i fremtiden

Hvor sidste kapitel fastslog, at der arbejdes mod at lave en god basis for at anvende 3D-bygningsmodeller til informationsudvekslingen, vil dette kapitel have til formål at præsentere nogle konkrete mulighederne i forhold hertil.

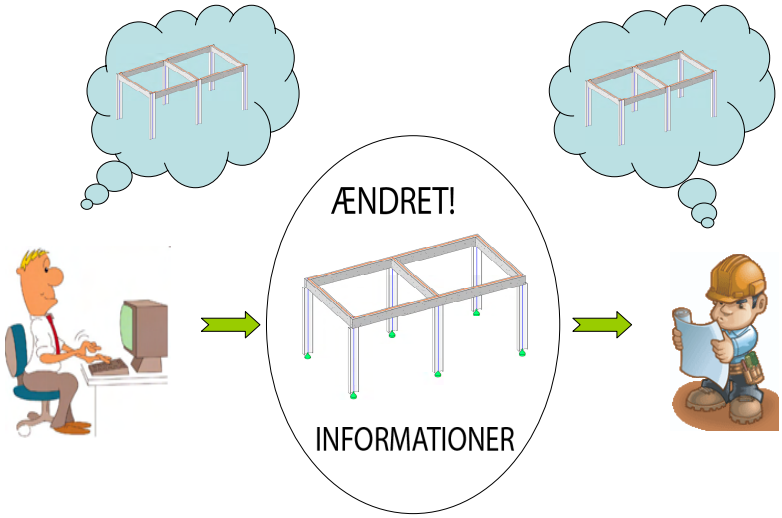
8.1 Ændring af informationsform

For at følge op på nogle af de rejste problemstillinger i sidste kapitel behandles her forskellige muligheder, der er tiltænkt at skulle skabe en mere smidig informationsudveksling parterne imellem. Tidligere blev det vist på figur 7.1, hvordan informationerne skulle fra den rådgivende ingeniør, som afsender, til entreprenøren, som modtager. I forhold hertil er der gjort rede for, at det i fremtiden stræbes mod, at informationerne udveksles direkte vha. en bygningsmodel, hvilket er illustreret på figur 8.1.

For at kunne gennemføre en sådan informationsudveksling, er det nødvendigt at anvende forskellige hjælpeværktøjer. Her præsenteres mulighederne i forbindelse med anvendelsen af en viewer samt et kommunikationssetup kaldet "skærm-til-skærm".

8.2 På opdagelse i modellen med en viewer

En af de nemmest tilgængelige måder at få formidlet en bygningsmodel fra tegnestuen og ud på byggepladsen, er ved anvendelsen af en viewer. En viewer er et program, der ofte kan anskaffes gratis, og som anvendes til at vise bygningsmodellen. Det kan sammenlignes med, at man anvender Adobe Reader til at vise pdf-filer. Der findes en række forskellige viewere, med forskellige egenskaber og muligheder. En af de afgørende ting for valget af viewer er, hvilket format bygningsmodellen forefindes i. I denne rapport behandles to forskellige viewere. Den ene anvendes til IFC-modeller, og den anden til dwf-filformatet. Der findes en række andre viewere, som ligeledes kan anvendes til visning af bygningsmodeller. Her kan nævnes Turntool Viewer, NavisWorks samt muligheden for at vise en model i et pdf-dokument. Disse vil dog ikke blive behandlet yderligere.

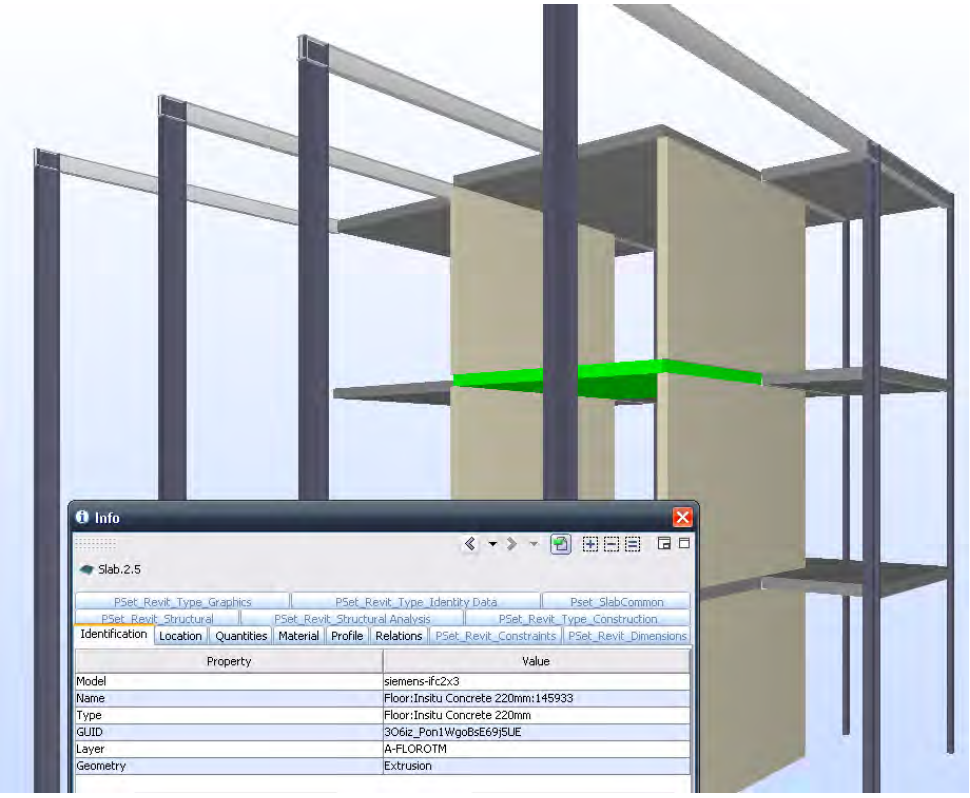


Figur 8.1 *Illustration af hvordan informationerne gerne skulle blive nemmere at forstå ved anvendelse af en bygningsmodel.*

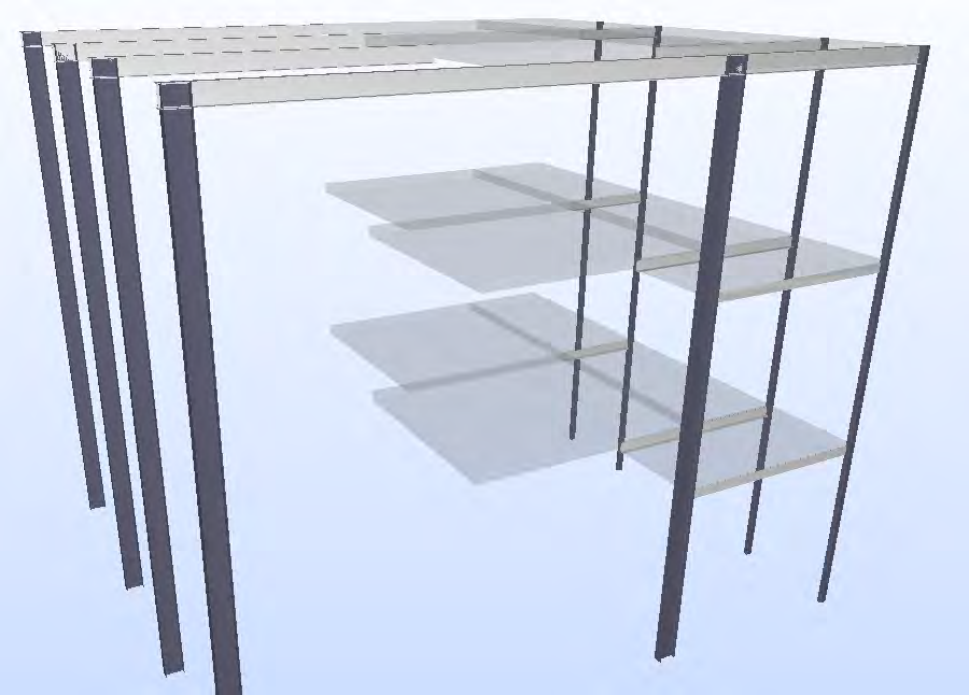
8.2.1 Solibri Model Viewer

Firmaet Solibri stiller en gratis viewer, der kan anvendes til visning af IFC-modeller, til rådighed. Det kræver dog, at man er registreret bruger på internetsiden, hvilket ligeledes er gratis. Vieweren anvendes via internettet, hvor det er muligt at åbne en bygningsmodel og navigere rundt heri. På figur 8.2 ses et view af IFC-modellen for konstruktionen, som blev behandlet ved reprojekteringen i *del I*. Her er det angivet, at man har markeret et betondæk med en tykkelse på 220mm, hvilket er korrekt. Det er ligeledes muligt at få opgivet profiltype og størrelse for stålelementerne, samt hvilken stålkvalitet disse skal have. Det er hermed f.eks. muligt at danne sig et overblik over hvilke materialer, der skal bestilles hjem.

Det er muligt at gøre objekter transparente eller fjerne dem helt, hvilket kan være en fordel, hvis man sidder med en stor og uoverskuelig model, hvor man skal finde til enkelte oplysninger, der måske ikke umiddelbart kan ses. Disse muligheder er illustreret på figur 8.3, hvor betonvæggene er skjult, og dækkene er gjort gennemsigtige, for at man kan se stålbjælkerne, der ligger herunder. På internetsiden for dette projekt findes et link til denne viewer.



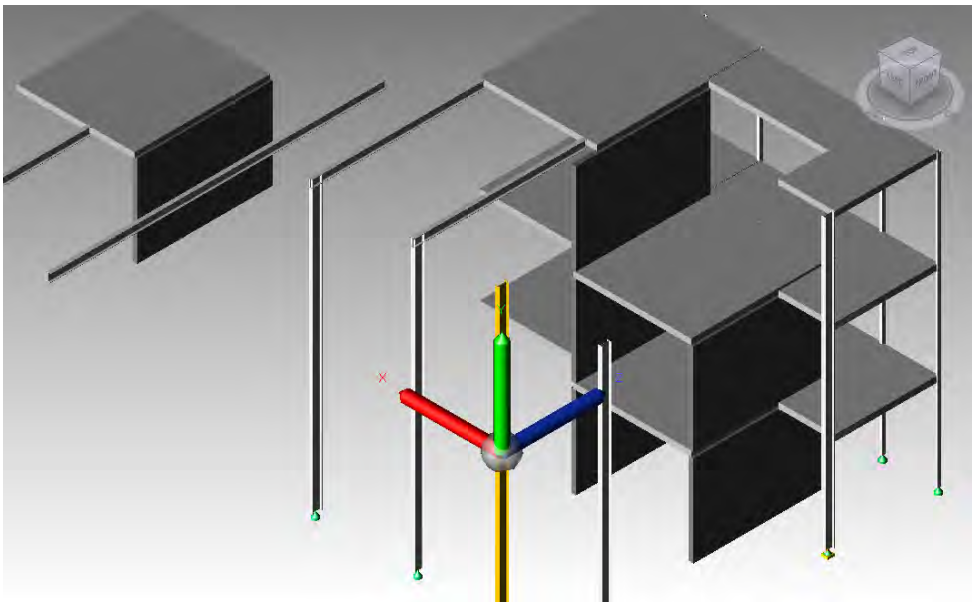
Figur 8.2 *Illustration af Solibri Model Viewer, der viser en IFC-model.*



Figur 8.3 *Illustration af en IFC-model i Solibri Model Viewer, hvor det er gjort nemmere at overskue stålelementerne.*

8.2.2 Autodesk Design Review

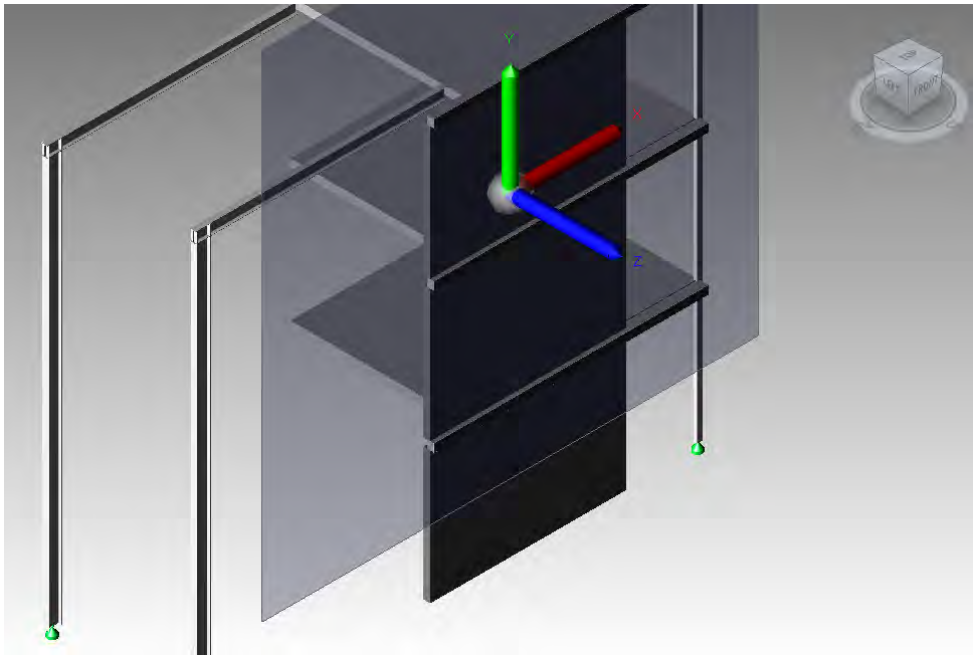
Softwareudbyderen Autodesk har selvfølgelig også sin egen viewer, der kan anvendes til at vise en bygningsmodel i dwf-filformatet, som komponentmodellen fra Revit kan eksporteres direkte til. På figur 8.4 ses et skærmbillede fra vieweren, hvor det er den samme konstruktion som før, der bliver vist.



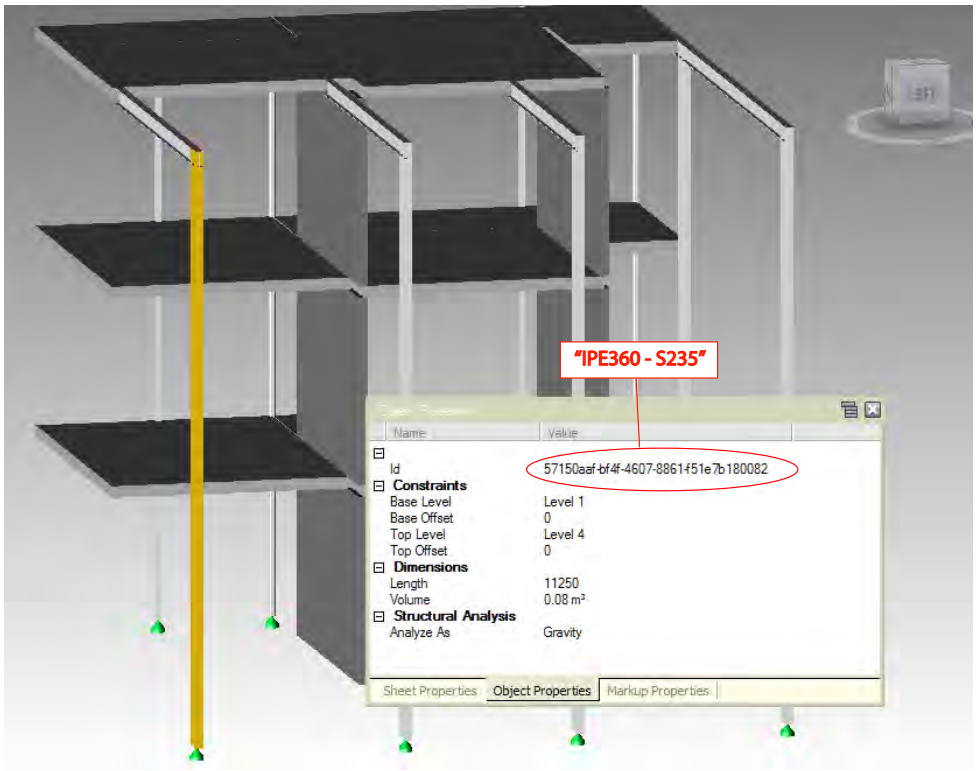
Figur 8.4 *Illustration af vieweren fra Autodesk.*

I denne viewer er det bl.a. muligt at flytte bygningsdele, så man dermed nemmere kan se det, som man skal have informationer om, hvilket også er blevet gjort ved modellen på figuren. Derudover har man mulighed for at indlægge snit i modellen, hvilket er illustreret på figur 8.5. Med disse redskaber er det så at sige muligt at splitte modellen ad, for at finde frem til det view eller objekt, som man skal bruge.

Hvis vieweren skal anvendes til informationsudveksling, er det vigtigt, at man kan anvende mere end den rent visuelle del. Her er det muligt at klikke på de forskellige objekter og se informationer herom. Dette er vist på figur 8.6. Her mangler dog nogle vigtige informationer, såsom profiltype og stålkvalitet, før modellen i vieweren kan anvendes ved bestilling af materialer. På internetsiden for dette projekt findes ligeledes et link til denne viewer.



Figur 8.5 *Illustration af hvordan der kan indlægges snit i konstruktionen. Snittet kan justeres i de tre retninger og roteres om alle akserne.*



Figur 8.6 *Illustration af visningen af objektinformationer.*

8.2.3 Sammenligning af de to viewere

Hvilken viewer, der er den mest anvendelige, vil bl.a. afhænge af behovene i den konkrete anvendelse. Her tænkes f.eks. på om modellen modtages som IFC eller som en dwf-fil. Det er en fordel ved IFC-vieweren fra Solibri, at den kan vise det åbne format. Det er dermed ikke et krav, at bygningsmodellen er opbygget i et Autodeskprogram, hvilket den skal være for at kunne eksporteres til det lukkede dwf-filformat. Ved at åbne IFC-modellen, får man flere oplysninger om bygningsdelene med over i vieweren, hvor materialeoplysninger mm. omkring de forskellige elementer kan ses.

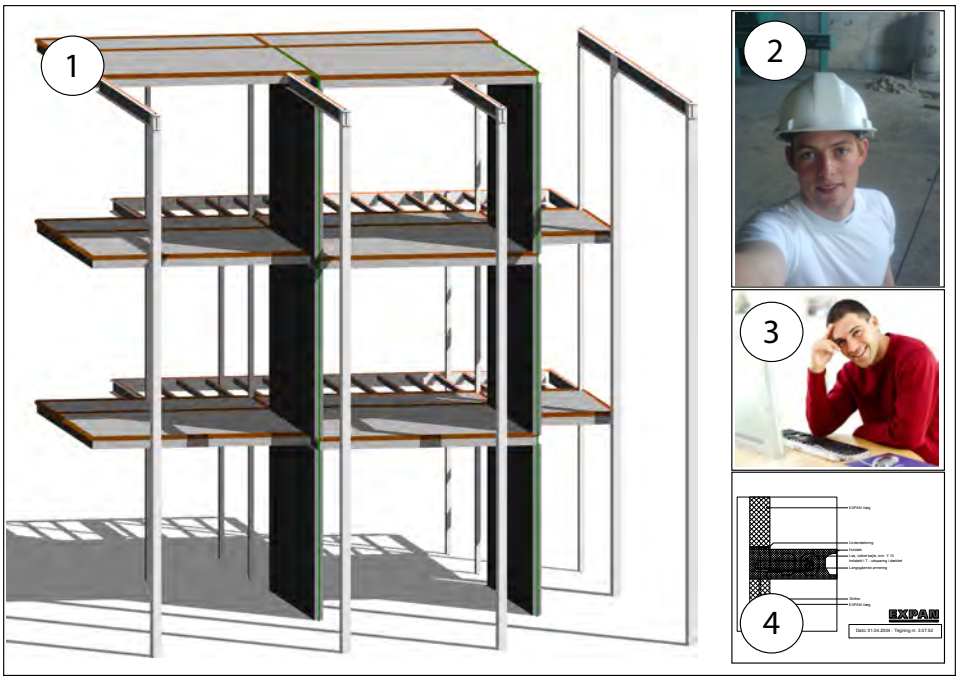
Solibris viewer har desuden den fordel, at man ikke så nemt kommer til at "ødelægge" modellen, hvilket kan ske ved Autodesk Design Review, hvor man kan flytte rundt på elementerne og lave alverdens skæve og lige snit. Dette er der selvfølgeligt også fordele ved, men det er generelt nemmere at komme tilbage til den oprindelige model ved Solibri Model Viewer. I og med at det er den oprindelige model, som er gældende er dette en vigtig mulighed.

I forbindelse med visningen af en bygningsmodel er modulnettet en vigtig ting. Dette anvendes til at orientere sig i forhold til den samlede konstruktion. Det vil derfor være en fordel, hvis dette ligeledes blev vist i vieweren, der samlet set må vurderes at være en brugbar løsning som en del af informationsudvekslingen. Dette uanset om det er den ene eller den anden viewer der anvendes.

8.3 Mere direkte og dynamisk kommunikation

Der gives her et bud på et værktøj, der kunne være det næste skridt i udviklingen af informationsudvekslingen. Der er tale om et kommunikationssetup, der er udarbejdet selvstændigt i forbindelse med dette projekt. Grundlaget herfor er at man på byggepladsen har direkte adgang til en fælles bygningsmodel, der kan være placeret på en IFC-modelserver. Hermed er det muligt, at både rådgiveren og entreprenøren, hele tiden har adgang til den nyeste gældende version af modellen. Denne vil så kunne danne grundlag for samarbejdet og i forhold til at forbedre dette, blev denne metode præsenteret gennem interviewene ved MT Højgaard.

Her blev de interviewede præsenteret for et udarbejdet forslag til, hvordan skærmbilledet på computeren kunne se ud, når man i fremtiden skal kommunikere mellem rådgiveren og entreprenøren. Skærmbilledet kan ses på figur 8.7. Det er valgt at benævne denne metode "skærm-til-skærm", og det grundlæggende i dette samarbejde er, at de to parter, der skal kommunikere, hele tiden ser det samme view af modellen. Derfra er det muligt "at tage hinanden i hånden" og gå gennem bygningen for at afklare diverse problemstillinger. Begge parter har altså mulighed for at navigere i modellen og fremlægge spørgsmål eller kommentarer.



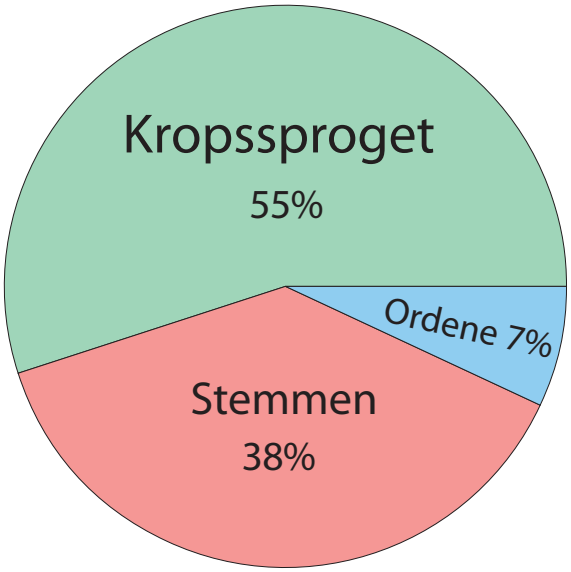
Figur 8.7 *Skærmbilledet under et "skærm-til-skærm" møde.*

Skærmbilledet på figur 8.7 er opdelt i følgende fire felter:

1. Bygningsmodel
2. Webkamera ved entreprenøren
3. Webkamera ved den rådgivende ingeniør
4. Fildelingsapplikation

En af fordelene ved denne metode er, at man kan sidde ved hver sin computerskærm uafhængigt af geografisk placering, hvilket kan spare tid og penge alene i transportomkostninger og -tid. Endvidere vil entreprenøren f.eks. kunne drage nytte af muligheden for at tage sit kamera og gå hen til det sted, hvor der er opstået et problem og vise det direkte til rådgiveren. Dette vil dog kræve en vis mobilitet i teknologien, men det er bestemt ikke umuligt og det vil samtidig give rådgiveren mulighed for at se tingene fra en anden vinkel. Desuden vil rådgiveren kunne bede entreprenøren om at tage billeder og sende dem direkte. Disse kunne både anvendes som dokumentation og som en hjælp til at løse problemstillingen.

Der er tale om en mere direkte kontakt end ved anvendelse af projektweb eller lignende, da man har mulighed for at tale sammen og se samarbejdspartneren. Dette kan virke banalt, og man skal desuden være opmærksom på, at det ikke er alle, som vil være vilde med at blive udstillet på et webkamera, men metoden skal sammenholdes med, hvordan man fortolker et budskab fra en anden person. På figur 8.8 ses en graf fra en undersøgelse af hvilke ting, der har indflydelse på, hvordan et budskab fortolkes.



Figur 8.8 *Illustration af hvordan et budskab fortolkes. [31]*

Det må udfra grafen konstateres, at hidtige kommunikationsformer som mailkorrespondance og telefonsamtaler kun kan opfylde hhv. 7% og 45%, hvilket må have betydning for samarbejdet parterne imellem. Hvis man kan opfylde de 100%, er der mindre risiko for at budskabet fejlfortolkes eller slet ikke forstås. Dette er tanken bag anvendelsen af en kommunikationsform, hvor det er muligt at se den anden part.

Det skal i denne sammenhæng nævnes, at der i forhold til denne rapport, ikke er lavet undersøgelser, der kan vise, at dette gør sig gældende ved kommunikationen omkring et byggeprojekt. Her må det konstateres, at der ofte vil være tale om faktabaseret kommunikation, hvorfor man muligvis skal forholde sig anderledes hertil. Det må dog formodes, at dette kommunikationssetup vil kunne ændre elementer i samarbejdet, og hvordan parterne "ser" på hinanden.

Med anvendelse af "skærm-til-skærm" kunne man forestille sig, at de to parter planlægger at skulle afholde et fælles møde, hvor de begge kobler sig op på den fælles model. Til udveksling af detaljer eller lignende kunne man have en fælles udvekslingsapplikation (4 på figuren), hvor det er muligt at dele filer, som den anden kan downloade eller udprinte direkte. Der er altså tale om et redskab, der kan bruges til den daglige udveksling af oplsyninger, hvilket dog kræver, at begge parter har adgang til internettet. Hvis der f.eks. skulle opstå akutte problemer ude på byggepladsen, vil det være nødvendigt at kunne træffe rådgiveren ved en computer, hvilket dog ikke vurderes at være væsentligt sværere end at træffe ham/hende på traditionel vis f.eks. via telefon. Samtidig skal det nævnes, at man jo stadig gerne må vurdere, hvornår det er formålstjenstligt at anvende "skærm-til-skærm".

Det er tidligere nævnt i denne rapport, at der er knyttet mange juridiske spørgsmål til samarbejdet omkring en byggesag, og det vil derfor være en fordel, hvis det var muligt at optage mødet. Dermed ville man have dokumentation for, hvad der er sagt og aftalt, og der kan laves en historik på sagen, hvor man kan se, hvad mødet har omhandlet, og hvad der eventuelt er blevet udvekslet af oplysninger/data. Derudover kunne man tilknytte billeder, hvor de diskuterede problemstillinger er markeret på modellen, hvilket f.eks. kan anvendes bagefter af rådgiveren, der måske skal videregive oplysningerne til en fagingeniør.

Selvom der i dette eksempel kun er vist to deltagere i mødet, kunne man sagtens forestille sig, at der var flere med, så entreprenøren f.eks. kan overvære et møde mellem arkitekten og ingeniøren og dermed have mulighed for at komme med kommentarer set udfra, hvordan det er muligt at opføre tingene. Ved at tilføje dette aspekt vil man i endnu højere grad skabe et mere dynamisk og direkte samarbejde. Anvendelsen af metoden i denne henseende skal dog ikke ses som en erstatning af den personlige kontakt, hvor de forskellige parter mødes, men ses som et supplement hertil.

8.3.1 Feedback på metoden

Der var generelt postitive holdninger blandt de interviewede omkring fremtidsmulighederne med anvendelsen af en bygningsmodel til informationsudvekslingen, hvilket specielt omhandlede det, at man nemmere kan forklare hinanden, hvor i bygningen problemstillingen er, samt hvad problemet drejer sig om. Herunder var der også positive tilkendegivelser omkring fordelene ved den præsenterede "skærm-til-skærm" metode. De vigtigste elementer, udfra de interviewedes synspunkt, i forhold til at kunne anvende og drage nytte af metoden er listet op herunder.

- Der skal være modulnet vedhæftet modellen
- Det skal være muligt at anvende et målebånd i modellen, så begge parter kan se hvilke mål, der snakkes om
- Begge parter skal have mulighed for at navigere rundt i modellen
- Det skal være muligt at slukke for webkameraet
- Informationer om de enkelte bygningsdele skal kunne ses direkte på skærmen

Ud fra de positive tilkendegivelser ville det være interessant, hvis metoden kunne afprøves i forbindelse med et byggeprojekt, hvor der anvendes en bygningsmodel. Dette også set ud fra, at det ofte er nemmere at se fordelene ved en ny ting, hvorimod anvendeligheden og udbyttet i det daglige arbejde kun kan undersøges ved at anvende metoden. Derudover skal det nævnes, at respondenten ved et interview ofte vil forsøge at være flink overfor intervieweren, hvilket også kan give et mere positivt billede af fremtidsmulighederne og indtrykket af den præsenterede "skærm-til-skærm" metode. Dette er der dog forsøgt at tage højde for ved gennemførelsen af de enkelte interview.

Anvendelsen af dette kommunikationssetup vil medføre en ændring i de daglige arbejdsmetoder, og gennemførelsen vurderes derfor også møde de tidligere nævnte modenhedsbarrierer. Dette er vigtigt at have i baghovedet, da man ikke kan antage at både teknologi og medarbejdere er fuldstændigt klar fra dag et. De positive tilkendegivelser fra interviewene danner dog en god basis, for at forsøge sig med nye kommunikationsformer.

[20], [23] og [27]

8.4 Bygningsmodellen helt ud på byggepladsen

Gennem interviewrækken med MT Højgaard blev der gjort opmærksom på en vigtig ting, når man snakker informationsudveksling, nemlig at det ikke er nok kun at få de relevante informationer ud til byggelederens skur på byggepladsen. Selvom dette led selvfølgelig er yderst væsentligt i samarbejde, er det nødvendigt, at informationerne kommer helt ud til folkene, der skal udføre de forskellige håndværk på byggepladsen.

I forhold hertil har man udarbejdet projektet Logistik og proces under Det Digitale Byggeri, der har haft til formål at slå bro over informationskløften mellem de projekterende, de udførende og producenterne i byggeriet. En del af dette projekt er anvendelsen af et produktionskort, der har følgende formål:

> *Formålet med udarbejdelsen af produktionskortet er at tilvejebringe det redskab, der kan samle alle de opdaterede oplysninger og informationer der er nødvendige, for at kunne løse en given specifik produktionsopgave korrekt, i alle henseender og på den mest effektive måde.*

Man ønsker at kunne anvende oplysninger om de enkelte bygningsobjekter fra en bygningsmodel til direkte at indgå i produktionsbeskrivelserne, der skal anvendes af håndværkerne ude på pladsen. På det nuværende stadie er der dog kun tale om et kort, der skal kunne genereres digitalt og derefter printes. Produktionskortet skal fungere som bindeled mellem rådgiverens tænkte udførelse og håndværkerne, der skal stå for udførelsen.

[32] og [33]

I forhold til udviklingen af produktionskortet har Mads Peter Sørensen, gennem et afgangsprojekt fra 2007, arbejdet videre med et såkaldt proceskort. Det vigtige element omkring dette forbedrede produktionskort er, at det ikke længere er sidste led i et informationsflow, men at kortet bliver en del af processen, ved at det er muligt at give feedback til byggelederen eller bygningsmodellen. Der kan dermed heller ikke længere være tale om et kort på papirsudskrift, men derimod tænkes det muligt at anvende proceskortet i elektronisk form. Hermed bliver kortet interaktivt og den mulige feedback vil kunne indeholde registreringer i forhold til opgaven, hvilket f.eks. kan anvendes som en del af kvalitets styringen (KS). [34]

Ved interviewene til denne rapport blev der ikke spurgt ind til kendskabet eller anvendelsen af produktionskort. De adspurgte kunne dog se mange fordele ved at erstatte tegninger og beskrivelser, som håndværkerne tager med ud på pladsen, med en bærbar computer, hvorfra der er adgang til den fælles bygningsmodel. På denne måde ville man skabe en endnu mere direkte forbindelse mellem den rådgivende part, der opbygger modellen, og den udførende part, der skal anvende informationerne fra modellen. Her kunne respondenterne ligeledes se fordele ved at kunne anvende "skærm-til-skærm" kommunikationen, hvor det i endnu højere grad vil være muligt for de udførende at gøre problemstillingerne anskuelige, da de vil have mulighed for at stå lige ved siden af dem.

Hvis man skulle anvende sådan en arbejdsmetode, skal følgende krav kunne opfyldes:

1. Materiellet skal kunne holde til at være ude på byggepladsen
2. Der skal være den fornødne teknologi til stede
3. Brugerne skal kunne anvende materiellet og teknologien

Det vurderes, at de to første punkter vil kunne opfyldes, såfremt man er villig til at investere i denne udvikling. Der vil selvfølgelig gå en rum tid inden materiellet og teknologien vil være 100% anvendelig, og man må være indstillet på, at det kræver tålmodighed og velvilje, hvis ændringerne af arbejdsmetoden skal lykkedes.

Med hensyn til brugerne vil den førnævnte barriere omkring modenhed igen spille en væsentlig rolle, da det vil være nødvendigt at gennemføre efteruddannelse af medarbejderne. Desuden er det vigtigt, at man får beskrevet kravene mht. anvendelse af IKT-værktøjer i kontrakterne med de forskellige fagentreprenører. Dette skal gøres for at de indstiller sig på, at det er nødvendigt at kunne indgå i et digitalt byggeprojekt, hvis man vil fortsætte med at få opgaver i byggeriet. [24]

En væsentlig barriere i forhold til at ændre på den gældende praksis anses at være akkordaflønningen. Denne medfører nemlig, at det må forventes, at håndværkerne vil være modstandere af at skulle indføre en ny arbejdsmetode, hvis den umiddelbare konsekvens bliver, at de skal til at bruge en masse tid på at sætte sig ind i alt det nye. Dette vil gå ud over akkorden, så der ligger derfor en stor opgave i at få gennemført disse forandringer, hvor det skal anskueliggøres, at alle vil kunne opnå mere effektive arbejdsgange i det lange løb. Hvordan det helt konkret skal lade sig gøre vil være op til den enkelte virksomhed. Her er blot nævnt nogle af de ting, som man skal være opmærksom på, hvis man ønsker at ændre arbejdsgangene.

8.5 Opsummering

Det er gennem dette kapitel blevet behandlet, hvordan man kan anvende forskellige værktøjer til at forbedre informationsudvekslingen. Primært handler det om at gøre informationerne mere direkte, hvilket f.eks. kan gøres gennem en bygningsmodel, der kan ses vha. en viewer. Der kan stadigt gøres meget for at udvikle mulighederne hermed, hvor det bl.a. er ønskeligt at indsamle erfaringer fra anvendelsen af viewerne og få feedback på, hvilke krav der stilles hertil.

Det udarbejdede kommunikationssetup kaldet "skærm-til-skærm" er præsenteret og gennem interviewene er det erfaret, at man ser positivt herpå samt at man ønsker bedre muligheder, for at få informationerne helt ud til håndværkerne på byggepladsen. Her kunne det være relevant at lave et forsøg, hvor man undersøgte anvendeligheden af "skærm-til-skærm". Desuden kunne man forsøge at få en bærbar computer, med adgang til byggeprojektets bygningsmodel, helt ud til de udførende, for at erfare om dette kan hjælpe med til at skabe et mere effektivt byggeri med mindre fejl.

Der udarbejdes ikke en delkonklusion for denne anden del af rapporten, da indholdet af en sådan vil være at finde i den efterfølgende samlede konklusion.

Del III

Afslutning

Konklusion

9

Dette kapitel har til formål at sammenfatte de undersøgte og præsenterede områder i denne rapport. Dette gøres ved at genoptage den opstillede ramme for dette projekt.

Diplomprojektet tager sit udgangspunkt i en undren over manglende produktivitetsudvikling i den danske byggebranche. Denne undren udsprang af observationer gennem en praktikperiode ved et rådgivende ingeniørfirma, og sammenholdes i denne rapport med publikationer, der ligeledes påpeger, at der er behov for en udvikling af produktiviteten i byggeriet. Efter en afgrænsning fastlægges, at denne rapport efterfølgende skal afdække og besvare følgende projektramme.

> *Hvordan kan man anvende en 3D-bygningsmodel til projekteringen af bærende konstruktioner, hvor projekteringen både indeholder dimensioneringer og den efterfølgende informationsudveksling mellem den rådgivende ingeniør og den udførende entreprenør.*

9.1 Integreret projektering

I rapportens første del behandles emnet integreret projektering. Dette emne dækker over en dimensioneringsmetode, hvor man opbygger en komponentmodel i et CAD-system, hvorfra der udveksles data til en analysemodel. Der udføres tre forsøg, hvor mulighederne for at udveksle data mellem modellerne undersøges. Resultat heraf viser, at man ved at overføre data fra programmet Revit til Staad Pro, kan genanvende oplysninger om geometri og materialer samt understøtnings- og fastholdelsesforhold.

Endvidere inddrages resultater fra eksterne undersøgelser, og disse viste, at der kan gøres meget for at forbedre mulighederne mht. dataoverførsel. Her vurderes det at være en fordel, hvis alle støtter om anvendelsen og udviklingen af IFC-modeller indeholdende alle relevante egenskaber. Her er det vigtigt, at CAD-programmerne kan håndtere IFC-modeller, hvilket er vurderet ikke at virke tilstrækkeligt ved de udførte forsøg.

De undersøgte muligheder for at gennemføre en integreret projektering afprøves gennem en reprojektering af et byggeri, indeholdende beton- og stålelementer. Her opbygges en komponentmodel med arkitektens tegninger som underlag. Oplysninger fra modellen overføres til en analysemodel i programmet Staad Pro, hvor der udføres to analyser. Før dette er muligt, tilrettes elementer, som enten ikke er overført fra komponentmodellen, eller som ikke er overført korrekt.

Først analyseres totalstabiliteten, hvor det eftervises, at en vandret vindbelastning kan optages af stabiliserende betonvægge. Herefter udvælges stålelementer, som dimensioneres udfra forskellige lastkombinationer. De modellerede søjler og bjælker, der blev undersøgt, overholder kravene både til tværsnitsudnyttelse og udbøjning. Desuden anskueliggøres det, hvordan man kan anvende FEM-beregningerne fra analysemodellen som grundlag for både fundaments- og samlingsdimensioneringer.

Konklusionen på den integrerede projektering er, at det, med de valgte værktøjer, er muligt at genanvende data fra komponentmodellen, men at det kun er i et begrænset omfang. Der skal udføres en række tilretninger, og elementer skal defineres i analysemodellen, inden denne kan anvendes til eftervisninger og dimensioneringer.

Det er ønskeligt, at ændringer i komponentmodellen automatisk kan overføres til analysemodellen, hvorved det er hurtigt at overskue, om ændringerne resulterer i øgede belastninger og eventuelle nødvendige dimensionstilretninger. Denne forbedring af dimensioneringsprocessen vurderes at blive mulig, hvis anvendelsen af IFC-modeller i programmerne forbedres. Et alternativ hertil kunne være en bedre direkte kobling mellem komponent- og analysemodellen, eller en integration af de to modeller i det samme CAD-program.

Gennemførslen af en integreret projektering vurderes at kræve, at man ændrer i arbejdsmetoderne hos den rådgivende ingeniør, hvilket er forbundet med en række barrierer. Disse omhandler primært ændringer af rolle- og arbejdsfordelingen, der bl.a. vil kræve nye arbejdsgange og eventuelt efteruddannelse af medarbejdere.

9.2 Informationsudveksling

Rapportens anden del behandler den anden del af projektrammen omkring udvekslingen af informationer mellem rådgiveren og entreprenøren. Her præsenteres først en status omkring den modelbaserede arbejdsmetode. Denne status tager sit udgangspunkt i både internationale og nationale undersøgelser samt interviews og besøg ved hhv. MT Højgaard og Rambøll i Aalborg.

Tendenserne peger mod, at rådgiveren er forandringsagenten, der går forrest i forhold til udviklingen. Denne bremses primært af en barriere, der bunder i manglende modenhed i branchen. Hermed menes, at man, f.eks. ved entreprenøren, står overfor en række udfordringer omhandlende efteruddannelse af medarbejdere, investering i nye programmer og muligvis investering i ny teknologi på byggepladsen. Desuden bunder en del af modenhedsbarrieren i en mere generel uvished omkring, hvordan man skal gribe den modelbaserede arbejdsmetode an. Man er dog meget interesseret i at arbejde for indførelsen af denne metode, da der kan opnåes fordele ved f.eks. at kunne bruge bygningsmodeller til tidsplanlægning, materialebestillinger, økonomistyring og informationsudveksling.

Samarbejde og kommunikation er gennem eksterne undersøgelser fastslået som et af de områder, der er sværest i forhold til byggeprocessen. Samtidig er det også et område, hvor forbedringer vurderes at skabe en bedre byggeproces og dermed et bedre byggeri. Denne rapport ser derfor nærmere på praksis omkring informationsudvekslingen mellem rådgiveren inde på tegnestuen og entreprenøren på kontoret og ude på byggepladsen.

Her belyses, hvordan kommunikationen foregår på traditionel vis, samt hvordan bygherrekravene fra Det Digital Byggeri, og vejledninger fra foreningen bips, skal være med til at præge den fremtidige udvikling. Informationsudvekslingen skal have basis i en projektwebløsning, som bl.a. huser fælles bygningsmodeller. Til fremme af det digitale samarbejde findes endvidere en række bipsvejledninger, som vurderes at være grundlæggende elementer for at opnå konsensus mellem byggeriets parter.

Til sidst i rapporten ses der nærmere på, hvad der konkret kan gøres i forhold til udvekslingen af informationer. Et af de vigtige værktøjer i denne sammenhæng er en viewer, der kan fremvise en bygningsmodel. Her blev der præsenteret to forskellige, der begge har den fordel, at de er gratis og forholdsvis nemme at anvende. Der er derfor god basis for at anvende disse som vinduet til bygningsmodellen for folkene ud på byggepladsen.

Endvidere præsenteres et forslag til et udarbejdet kommunikationssetup kaldet "skærm-til-skærm". Dette har til formål at skabe en mere direkte informationsudveksling mellem de to parter, der sammen kan navigere rundt i en fælles bygningsmodel og afklare diverse problemstillinger. Reaktionerne fra respondenterne på entreprenørsiden var positive, og de kunne se fordele ved at have dette værktøj som et led i en forbedret informationsudveksling.

Det kan, på baggrund af anden del af rapporten, konkluderes, at anvendelsen af bygningsmodeller til informationsudvekslingen virker til gavn for samarbejdet mellem rådgiveren og entreprenøren. Dette skyldes bl.a., at mange tvivlsspørgsmål fjernes, og overordnet set gør den modelbaserede arbejdsmetode det muligt at arbejde forud for problemstillingerne, ved opførelsen af byggeprojektet.

Set med fremtidsbrillerne vurderes det, at man gennem de næste år vil se en øget anvendelse af den modelbaserede arbejdsmetode indeholdende informationsudveksling gennem bygningsmodeller. Dette vurderes endvidere at være en effektiv måde at fremme udviklingen mod et bedre byggeri af højere kvalitet og med mindre fejl. Ved at afprøve mulighederne nedbrydes en del af modenhedsbarrieren, hvilket er nødvendigt for at fremme udviklingen. Denne konkluderes at have gode vilkår, da der generelt er en meget positiv holdning til anvendelsen af 3D-bygningsmodeller blandt de adpurgte i dette projekt. Det må dog antages at være en langsommelig proces at få tingene implementeret i det daglige arbejde, da det i mange tilfælde kræver ændringer af den traditionelle arbejdsmetode.

Afslutningsvis konkluderer denne rapport, at anvendelsen af bygningsmodeller er uundgåelig i fremtidens byggeprojekter, hvorfor det vil være en fordel at integrere modellerne som en fast del af arbejdsmetoderne rundt om i virksomhederne.

Perspektivering
10

Slutteligt perspektiveres de behandlede områder i dette projekt i forhold til øvrige dele af byggebranchen og byggeprocessen. Her belyses nogle andre sammenhænge, hvor der kan gøres brug af bygningsmodeller.

Denne rapport har omhandlet anvendelsen af bygningsmodeller til projektering og samarbejdet gennem udførelsesfasen. Det er også nævnt, at man muligvis kunne modtage en bygningsmodel fra arkitekten, der kan anvendes som underlag for f.eks. konstruktionsingeniørens komponentmodel. Derudover vil arkitekten selv kunne drage fordele af at opbygge en model, som f.eks. kan indgå i behovsafklaringen med bygherren. Bygherren har langt bedre mulighed for at få præsenteret den ønskede færdige bygning. Endvidere kunne man lave en virtuel gennemgang, hvor bygherren og arkitekten kan navigere rundt i bygningsmodellen i 3D.

Hvis der eksempelvis skulle opføres en kontorbygning, kunne man programmere nogle virtuelle personer, som placeres i et kontormiljø. Personerne har brug for en vis mængde plads, og så kan man sætte dem til at arbejde, og dermed få angivelser af, om der er nogle, som ikke har nok plads. Derudover kunne man lave undersøgelser af støjniveauet, hvor x antal personer, telefoner, printere mv. placeres i lokalerne, og derudfra findes kritiske støjområder ved bygningsudformningen. Endvidere kunne man lave en virtuel brand på kontoret for at se, om der opstår kaos, eller bygningen er indrettet således, at de virtuelle medarbejdere hurtigt og sikkert kommer ud af bygningen. Dette er udtryk for ønskelige muligheder, der dog ikke ligger langt fra nutidens teknologi.

Der er gennem rapporten præsenteret forskellige muligheder for at drage nytte af bygningsmodellen. Udover disse, gennemføres der i øjeblikket et forsøg, hvor man indstøber en lille chip (RFID-tag) i et betonelement, hvorefter det er muligt at identificere og følge dette. En af fordelen herved er, at man kan holde styr på, hvor elementerne er henne, så man nemmere kan planlægge montagen. Bygningsmodellen kan her anvendes til eksempelvis at kontrollere, om alle elementerne til en given etage er kommet med ud af porten ved elementfabrikken. [35]

Endvidere kunne man forestille sig, at der blev draget nytte af bygningsmodellen i forbindelse med indretningen af byggepladsen. Bygningsdelenes vægt og placering i modellen kunne eksempelvis danne grundlag for placeringen af byggekraner.

Efter den virkelige bygning er opført, kan bygningsmodellen blive overdraget til bygherren eller dem, der skal drive ejendommen. Her vil man have mulighed for at tilføje kommentarer til rum eller bygningsdele, så det f.eks. kan noteres, hvis der er kommet en revne i en væg eller lignende. Dette vil være et nyttigt redskab i forbindelse med vedligeholdelse af bygningen

samt ved de obligatoriske gennemgange, hvor man kan gøre entreprenøren opmærksom på, hvor der er fejl og mangler.

Hvis den samme bygningsmodel skal være gennemgående for hele byggeprocessen, er det nødvendigt, at man kan se, hvad arkitekten har modelleret, og hvad den rådgivende ingeniør har ændret/tilføjet. Dette skyldes, at der kan opstå situationer, hvor det er nødvendigt at fastslå, hvem der har modelleret hvad. I tilknytning hertil må det forventes, at retningslinjerne for CAD-samarbejdet ændres eller tilrettes, eftersom der bliver udført flere byggeprojekter funderet på den modelbaserede arbejdsmetode.

Der findes virkelig mange anvendelsesmuligheder med bygningsmodellen og den fremtidige udvikling vil vise, hvad man hovedsageligt kan drage nytte af i praksis. Det må forventes, at man fortsat vil finde på nye måder at anvende modellerne, så byggeprocessen optimeres, og byggeprojekterne kan laves mere effektive og af højere kvalitet.

Del IV

BILAG

Laster

A

I dette bilag fastlægges de relevante laster til brug for stabilitetsanalysen og ståldimensioneringen. Først præsenteres laststørrelserne, hvorefter der følger en gennemgang af, hvilke lastkombinationer og tilhørende partialkoefficienter, der anvendes.

Egenlast

Følgende laster er fastsat for de dele af bygningen, der ikke er medtaget i analysemodellen.

Karakteristisk egenlast for ståltag over åbent atrium:

$$G = 1,20kN/m^2$$

Denne fladelast skal fordeles ud til de bærende bjælker, hvilket vil blive gjort på samme måde som proceduren ved snelasten.

Snelast

Den karakteristiske terrænværdi for sne ganges med en formfaktor på 0,8, hvilket giver den karakteristisk snelast:

$$S_k = 0,9kN/m^2 \cdot 0,8 = 0,72kN/m^2$$

[36, Kap. 7]

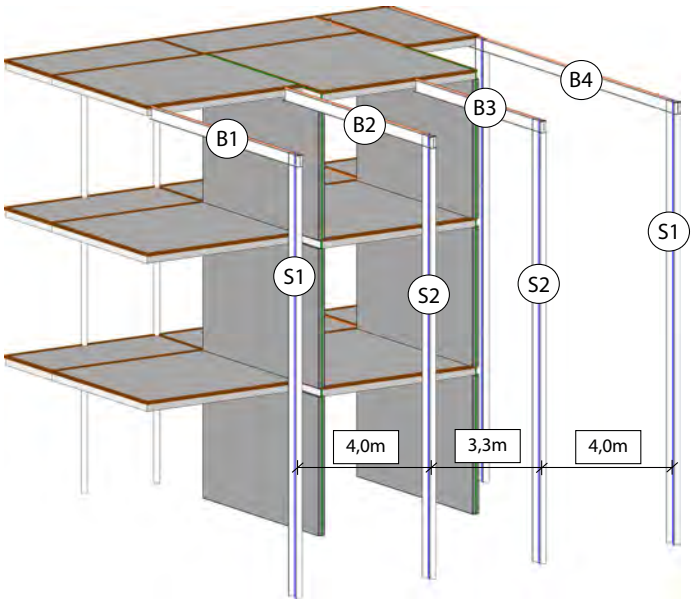
Fladelasten skal fordeles til bjælkerne B1-B4, der kan ses på figur A.1. Dette gøres efter de indbyrdes afstande, hvilke laver fladelasten om til en linjelast på hver af bjælkerne.

B1 og B4:

$$q_{S,B1+B4} = 0,72kN/m^2 \cdot \frac{4,0m}{2} = \underline{1,44kN/m}$$

B2 og B3:

$$q_{S,B2+B3} = 0,72kN/m^2 \cdot \left(\frac{4,0m}{2} + \frac{3,3m}{2}\right) = \underline{2,63kN/m}$$



Figur A.1 *Mellembygningen set fra forsiden.*

Vindlast

Beregningen af vindlasten følger ligeledes DS410, hvilket giver et samlet karakteristisk vindtryk ud fra en basisvindhastighed på $24m/s$, en referencehøjde på $11,8m$ og terrænkategori II svarende til landbrugsland.

$$q_{max} = 0,89kN/m^2$$

Denne værdi skal herefter ganges med formfaktorer for at finde både den værste vandrette belastning og vindens medvirken til den lodrette belastning.

Vandret vindbelastning

Formfaktorerne for udvendigt vandret vindtryk og indvendigt undertryk er hhv. $0,7$ og $-0,3$, hvilket tilsammen giver et vandret vindtryk på:

$$q_{max,vandret} = 0,89kN/m^2 \cdot (0,7 + 0,3) = 0,89kN/m^2$$

De to formfaktorer adderes, da udvendigt vindtryk og indvendigt undertryk virker i samme retning. Der er her ikke regnet med dominerende åbninger, da der kun er almindelige indgangsdøre i sammenbygningen.

Fordeling af vandret vindlast

Det fundne vindtryk skal optages af søjle-bjælke konstruktionen ved glasfacaderne. Fladelasten fordeles derfor ud som linjelaster på hhv. stålsøjlerne og -bjælkerne, hvilket gøres analogt med proceduren for snelasten. Søjlerne og bjælkerne kan ses på figur A.1, hvor de fire søjler er opdelt i to par, hvor begge søjler i et par skal optage den samme vindlast.

Søjle 1:

$$q_{V,S1} = 0,89kN/m^2 \cdot \frac{4,0m}{2} = \underline{1,78kN/m}$$

Søjle 2:

$$q_{V,S2} = 0,89kN/m^2 \cdot \left(\frac{4,0m}{2} + \frac{3,3m}{2}\right) = \underline{3,25kN/m}$$

Lodret vindbelastning

Det maksimale lodrette vindtryk fås udfra, at der er tale om et fladt tag. Her antages formfaktoren at have værdien -1 over hele taget. Minus betyder, at lasten virker nedadrettet og forårsager et lodret tryk på taget. Denne antagelse er gjort ud fra, at der er enkelte områder, som er udsat for en voldsom belastning, svarende til formfaktorerne $-1,3$ og $-1,8$, mens størstedelen af taget skal tildeles formfaktorer på $-0,7$ og $-0,5$. Værdien på -1 over hele taget, vurderes derfor at være på den sikre side. Det udvendige tryk skal kombineres med indvendigt undertryk, ligesom ved den vandrette belastning. Vindtrykket, regnet positivt ned på taget, bliver derfor:

$$q_{max,lodret} = 0,89kN/m^2 \cdot (1 + 0,3) = 1,16kN/m^2$$

[36, Kap. 6]

Det er vurderet, at det nedadrettede vindtryk vil være større end sug på taget kombineret med indvendigt overtryk, hvorfor dette lasttilfælde ikke behandles. Den lodrette vindbelastning fordeles til de bærende bjælker ligesom snelasten. Det bemærkes at fladelasten fra vinden er større end snetrykket, hvilket der skal tages højde for ved lastkombinationerne. Linjelasterne fra vindtrykket bliver:

B1 og B4:

$$q_{V,B1+B4} = 1,16kN/m^2 \cdot \frac{4,0m}{2} = \underline{2,32kN/m}$$

B2 og B3:

$$q_{V,B2+B3} = 1,16kN/m^2 \cdot \left(\frac{4,0m}{2} + \frac{3,3m}{2}\right) = \underline{4,23kN/m}$$

Lastkombinationer

I det følgende gennemgås de lastkombinationer, der er vurderet at ville forårsage de største vandrette og lodrette belastninger.

A.0.1 Vandret last

Til analysen af totalstabiliteten anvendes LAK 2.1 med dominerende vind, hvilket er vurderet som værende den værste lastkombination.

$$q = 1,5 \cdot V + 1,0 \cdot G \tag{A.1}$$

Denne lastkombination vil også blive anvendt til dimensionering af stålsøjlerne ved facaden. Her tillægges snelasten, og derudover skal lastkombinationen for anvendelsesgrænsetilstanden også anvendes.

$$q_{BGT} = 1,5 \cdot V + 1,0 \cdot G + 1,0 \cdot S \tag{A.2}$$
$$q_{AGT} = 1,0 \cdot V + 1,0 \cdot G + 0,5 \cdot S \tag{A.3}$$

[37, Tabel 5.2.8]

A.0.2 Lodret last

Til dimensionering af stålbjælkerne (B1-B4) skal den værste lodrette belastning findes. Her undersøges tre lastkombinationer, nemlig LAK 1.0 for anvendelsesgrænsetilstanden, LAK 2.1 med dominerende vindlast og LAK 2.3 hvor egenlasten forøges.

LAK 1.0

$$q = 1,0 \cdot V + 1,0 \cdot G + 0,5 \cdot S \tag{A.4}$$

LAK 2.1 med dominerende vind

$$q = 1,5 \cdot V + 1,0 \cdot G + 1,0 \cdot S \tag{A.5}$$

LAK 2.3

$$q = 1,15 \cdot G + 1,0 \cdot V + 1,0 \cdot S \tag{A.6}$$

[37, Tabel 5.2.8]

Begge de opstillede lastkombinationer anvendes i beregningsprogrammet Staad Pro, ved at der her pålægges de karakteristiske laster, og derefter sammensætes disse i lastkombinationer i programmet med de angivne partialkoefficienter.

Litteratur

[1] Anlægsteknikforeningen i Danmark. *Anlægsteknik 3: Økonomi i bygge- og anlægsvirksomheder*. Polyteknisk Forlag, 2008.

[2] Task Force ledet af Jesper Rasmussen. *Byggeriets Fremtid - fra tradition til innovation*. By- og Boligministeriet og Erhvervsfremme Styrelsen, 2000.

[3] Erhvervsfremme Styrelsen. *Bygge/Bolig - en erhvervsanalyse*. Erhvervsfremme Styrelsen, Erhvervsministeriet, 2000.

[4] Søren Apelgren; Anne Richter; Christian Koch. *Snublesten i byggeriet*. Danmarks Tekniske Universitet, 2005.

[5] Det Digitale Byggeri. Det digitale byggeri. URL `http://www.detdigitalebyggeri.dk`. 24.10.2008.

[6] Økonomi-og Erhvervsministeriet. Bekendtgørelse om krav til anvendelse af informations- og kommunikationsteknologi i byggeri, 2006. URL `https://www.retsinformation.dk/print.aspx?id=27419`. 24.11.2008.

[7] Chuck Eastman; Paul Teicholz; Rafael Sacks; Kathleen Liston. *BIM Handbook*. John Wiley & Sons, 2008.

[8] Finith Jernigan. *BIG BIM little bim*. 4Site Press, 2007.

[9] Jan Karlshøj; Jens Chr. Bennetsen; Erik Kjems; Kjeld Svidt; Eigil Nybo; Jørgen Jørgensen; Kristian Stenild. *Håndbog i 3D-modeller*. B3D-konsortiet, 2007.

[10] Thomas Lundsgaard; Morten Alsdorf; Claus Johannessen; Michael Blom Søefeldt; Helle Vibeke Nielsen; Gert Rønnow. *CAD-manual 2008 anvisning - C102*. bips, 2008.

[11] B3D Konsortiet. *Bygherrekrav 3D-modeller*. B3D Konsortiet, 2005.

[12] International Alliance for Interoperability. Iai forum danmark, 2008. URL `http://www.iai-forum.dk/`. 24.11.2008.

[13] Kjeld Svidt. Personlig kommunikation og vejledning gennem projektperioden.

[14] Autodesk. Revit structure, 2009. URL `http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?id=5523749&siteID=123112`. 05.01.2009.

[15] Bentley. Staad pro, 2007. URL `http://www.bentley.com/en-US/Products/STAAD.Pro/`. 05.01.2009.

[16] Autodesk. Autodesk robot structural analysis professional, 2009. URL `http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=11818196`. 05.01.2009.

[17] Stig Brinck bips. *C101 - CAD-udveksling - status for 2D og 3D geometri og objekter*. Byggecentrum, 2005.

[18] René Skov Nielsen. Interview af niels risgaard hansen, konstruktionsingeniør, rambøll. interviewnotat vedlagt på cd, .

[19] Adam Strafaci. What does bim mean for civil engineers?, 2008. URL `http://www.cenews.com`. 26.11.2008.

[20] René Skov Nielsen. Interview af rikke k.t. kruhøffer, turnusingeniør, mt højgaard. lydfil vedlagt på cd, . 24.11.2008.

[21] Arto Kiviniemi; Väino Tarandi; Jan Karlshøj; Håvard Bell; Jørgen Karud. *Review of the Development and Implementation of IFC compatible BIM*. Erabuild, 2008.

[22] Kikki Gyldenvang Steffensen; Jonas Lindhart; Svend Erik Jensen. *Modelbaseret arbejdsmetode i bips - C109*. bips, 2008.

[23] René Skov Nielsen. Interview af per olesen, formand, mt højgaard. lydfil vedlagt på cd, .

[24] René Skov Nielsen. Interview af brian sørensen, byggeleder, mt højgaard. lydfil vedlagt på cd, .

[25] René Skov Nielsen. Interview af per andreasen, afdelingschef, mt højgaard. lydfil vedlagt på cd, .

[26] Digital Konvergens. Afprøvning af dansk bygge klassifikation, 2008. URL `http://www.digitalkonvergens.dk`. 18.12.2008.

[27] René Skov Nielsen. Interview af peter bo olsen, it-forretningsudviklingschef, mt højgaard. lydfil vedlagt på cd, .

[28] Athena IT-Group. Fremtidens projektering og it-løsninger, 2008. URL `http://www.athena-cad.dk`. 18.12.2008.

[29] Arbejdsgruppe styret af bips Koordineringsudvalg. *Byggeriets IKT-specifikationer - F102*. bips, 2008.

[30] Arbejdsgruppe styret af bips Koordineringsudvalg. *IKT-ydelsesspecifikation, basisbeskrivelse - F202*. bips, 2008.

[31] Henrik Kjær; Hans Jørgen Skriver; Erik Staunstrup. *Organisation*. Trojka, 2007.

[32] Torben Klitgaard; Søren Spile; Klavs M. Hansen; Dag Sander; Morten Alsdorf. *Logistik og proces - Rapport*. bips, 2006.

[33] bips. Produktionskort.dk. URL `http://www.produktionskort.dk`. 19.12.2008.

[34] Mads Peter Sørensen. *Fremtidens Informationshåndtering på byggepladsen*. Aalborg Universitet, 2007.

[35] Kristian Birch Sørensen. Digital byggestyring med 3d, 4d og rfid, 2008. URL `http://bips.dk/Bips/Konference/Indlaeg/B3_2008.pdf`. 03.01.2009.

[36] *DS 410 - Norm for last på konstruktioner*. Dansk Standard, 1998.

[37] Dansk Standard. *DS 409 - Norm for sikkerhedsbestemmelser for konstruktioner*. Dansk Standard, 1998.