

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Denne oppgaven er skrevet ved Instituttet for matematiske realfag og teknologi, og er avsluttende oppgave for den femårige utdanningen Master i Teknologi- byggeteknikk og arkitektur ved Universitetet for Miljø og Biovitenskap.

3D-modelleringsprogram og bygningsinformasjonsmodellering (BIM) er morgendagens arbeidsmetode. Det vil ikke være prosjekter i fremtiden som ikke har bidrag fra BIM og mer avansert programvare. Programvaren er nå også på full fart inn i treindustrien og vil frigjøre store muligheter for tre som konstruksjonsmateriale.

Min interesse for modellerings- og analyseprogrammer fikk jeg ved deltagelse på et FEM-kurs ved Universitetet, hvor vi benyttet Ansys til å belyse fenite element metoden. I tillegg har jeg fått stor interesse for trekonstruksjoner via fag holdt av Nils Ivar Bovim, og da var ikke valget vanskelig for masteroppgave.

Veileder ved UMB har vært Nils Ivar Bovim.

I tillegg har jeg hatt stor hjelp av EDR AS, Engineering Data Resources AS, ved Daniel Nettet og flere andre ansatte som har bistått med lån av programvare, kurs og hjelp til modellering av eksempelbygg. Jeg vil takke alle overnevnte for all hjelp, og i tillegg må det rettes en stor takk til alle som jeg har hatt kontakt med i forbindelse med undersøkelsen, for at de tok seg tid til å snakke og dele sin kunnskap.



Ås, 12. mai 2010

Christian Lunde

Sammendrag

Tre som byggemateriale har lang tradisjon i Norge. For bolighus er det mest anvendte byggemateriale trevirke. Endring av teknisk forskrift gir større muligheter for å benytte trevirke som bærende konstruksjon i større bygg. Lærdom fra USA og Canada, som har brukt tre som bærende konstruksjoner i mange tiår allerede, har bidratt til økt forskning og innovasjon.

Med økende interesse for trevirke som bærende konstruksjoner dukker det opp flere problemstillinger som må løses. Denne masteroppgaven vil ha fokus på programvare for fullmodellering og konstruksjonsanalyse av trekonstruksjoner. Første del er en undersøkelse av treindustrien for å kartlegge hvilke programmer som blir benyttet i dag. Her ble de tre hovedaktørene i bransjen kontaktet; limtreindustrien, takstolindustrien og ferdighusindustrien.

Neste del belyser mulighetene ved å benytte seg av mer avanserte modelleringsprogrammer. Fem programmer blir belyst: Tekla Structure, Revit Structure, Data Design System (modellering). SAP2000 og Robot Structural Analysis Professional (analyse). Et eksempelbygg ble modellert i Tekla og overført til SAP2000 for analyse. Det er lagt vekt på stabilitetsanalyser, siden dette er en viktig analyse av bærende trekonstruksjoner for større bygg.

3D-modeller kan inneholde mengder med informasjon og på den måten fungere som informasjonsbærer for hele prosjektet (BIM). En modell inneholder all informasjon for hele bygget og det kan gjennomføres kollisjonstester, produksjonsdetaljer, fremdriftsplanlegging, osv, mellom forskjellige faggrupper. Dette gir store muligheter for treindustrien slik det har gjort for stål og betong i flere år allerede.

Undersøkelsen viser at treindustrien ligger etter stål- og betongindustrien. Dette grunnet manglende programvare for 3D-modellering. Derimot er det satsning på trekonstruksjoner hos programvareleverandørene og det er kommet programmer som er konkurransedyktige og gir treindustrien muligheter for mer avanserte modeller. Det er viktig at treindustrien viser interesse og blir med for å drive utviklingen videre.

Abstract

Wood as a building material has a long tradition in Norway. For housing, however, the most common method is wood construction. Change of technical regulations has provided greater opportunities for using timber structures in larger buildings. Experience from the U.S. and Canada, where timber structures are widely used for high raised buildings up to 8 storey's, has contributed to improve research and innovation in Scandinavia.

The increased interest for load bearing timber structures illuminate several issues that must be resolved. This thesis will focus on software for design and engineering analysis of timber structures. The first part is a survey of the timber industry to evaluate which programs are used in the timber industry today. It deals with the three main players in the timber industry; glulam-, truss- and building prefabrication industry.

The next section highlights the possibilities for use of more advanced design applications. Five programs are examined: Tekla Structure, Revit Structure, Data Design System (design), SAP2000 and Robot Structural Analysis Professional (analysis). An example building is designed in Tekla and transferred to SAP2000 for static analysis. It emphasize on stability analysis, since this is an important analysis for multi-storey buildings made of timber.

3D models can hold a lot of information and thus serve as an information carrier for the entire project (BIM). A model could hold all information for the entire building, and therefore allow crash tests to be carried out, documentation of production details, progress planning, etc. This provides the same opportunities for the timber industry as for steel and concrete structures, where this has been used for several years already.

The survey concludes that the timber industry is behind steel and concrete industry due to lack of software for 3D design of timber structures. However, software vendors are now having more focus on timber structures. This provides opportunities for more advanced design of timber structures. It is important that the timber industry contributes to further development.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	- 1 -
1.1	Bakgrunn for oppgaven	- 1 -
1.2	Problemstilling.....	- 8 -
1.3	Metode og avgrensninger.....	- 8 -
2	Teori	- 9 -
2.1	Modellerteori og begreper.....	- 9 -
2.2	Analyseteori.....	- 10 -
2.2.1	Statisk analyse.....	- 11 -
2.2.2	Lineære beregninger	- 12 -
2.2.3	Ikke-lineære beregning	- 13 -
2.2.4	Små forskyvninger.....	- 15 -
2.2.5	Store forskyvninger	- 15 -
2.2.6	Dynamiske analyser.....	- 17 -
2.2.7	Eksempler på analyser med elementmetoden	- 18 -
2.3	Eurocode 5	- 20 -
3	Kartlegging av anvendt programvare i treindustrien	- 22 -
3.1	Limtreindustrien	- 22 -
3.2	Takstolindustrien	- 24 -
3.3	Ferdighus-/elementhusindustrien	- 26 -
3.4	Oversikt over firmaer og anvendt programvare:.....	- 29 -
4	Presentasjon av modellerings- og analyseverktøy.	- 31 -
4.1	Tekla og SAP2000.....	- 32 -
4.1.1	Tekla Structure 16.0	- 33 -
4.1.2	SAP2000 14.0	- 39 -
4.1.3	Eksempelbygg	- 45 -
4.2	Autodesk Revit og Robot	- 60 -
4.2.1	Revit Structure 2010	- 61 -
4.2.2	Robot Structural Analysis Professional 2010	- 63 -
4.2.3	Eksempelbygg	- 68 -
4.3	DDS, Data Design Systems.....	- 69 -
4.3.1	DDS-CAD Arkitekt og konstruksjon og DDS-CAD MEP.....	- 70 -
4.3.2	Eksempelbygg	- 72 -
5	Diskusjon, muligheter og videre arbeid	- 74 -
5.1	Undersøkelse.....	- 74 -
5.2	TEKLA og SAP	- 75 -
5.3	Revit og Robot.....	- 76 -
5.4	DDS.....	- 77 -
5.5	Overordnet diskusjon	- 77 -
6	Konklusjon	- 79 -
7	Tabelliste	- 81 -
8	Figurliste	- 82 -
9	Referanser	- 84 -
9.1	Skriftlige referanser	- 84 -
9.2	Personlig kommunikasjon	- 85 -
10	Vedlegg	- 87 -

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Noe av motivasjonen for oppgaven er å få trevirke inn som konstruksjonsmateriale i større bygninger i Norge. I bolighussegmentet er det en overvekt av tradisjonell trehusbebyggelse, type standard stenderveggshus med takstolkonstruksjoner av trevirke osv, men i segmentet over to etasjer, type rekkehus, leilighetsbygninger og større industribygninger, er det i all hovedsak betong og stål som blir benyttet.

BIM

I byggebransjen er det mange aktører/fagområder som er med i hvert prosjekt.

Prosjekteringsgruppene er forskjellige og de fleste har sine egne rutiner og retningslinjer for hvordan man gjennomfører et prosjekt. Det er en massiv informasjonsutveksling som foregår fortløpende under hele prosessen fra skisse-, for-, detaljprosjekt, produksjon og ferdigstillelse. Man er avhengig av at all informasjon som trengs for å gjennomføre alle prosesser er til stede til rett tid, sted og med riktig kvalitet og mengde. Det er viktig å presisere at kvalitet og mengde i denne sammenheng betyr mengde og kvalitet på informasjon som er relevant for bruker. Alle aktører i den totale prosessen har ikke bruk for all informasjon som er tilgjengelig.

BIM (Bygnings Informasjons Modelling), som er den nye hovedtanken som bygg og anleggsbransjen går mot i dag, skaper store muligheter. Her er det en geometrisk 3D-modell som i tillegg til det rent visuelle, kan inneholde mengder av annen informasjon som ikke er direkte synlig på skjerm. Den kan bli en 5D-modell hvis dette er ønskelig, og det finnes i dag flere programmer som dekker 5D-modellering, altså med tid og kostnad i tillegg til geometrisk 3D-modell. Når en modell inneholder slike mengder av informasjon vil det være absolutt nødvendig at de forskjellige aktørene får den informasjonen de trenger, og ikke en mengde med unyttig informasjon som er ment for en annen faggruppe. Det er stor variasjon mellom de forskjellige programmene som er på markedet, spesielt for hvilken informasjon modellene inneholder. Hos noen er det lite profesjonell informasjon, slik at bidraget til

felleskapet er lite. I tillegg er det dårlig oversikt over hvor informasjonen ligger i programmet. Det hjelper ikke om en modell inneholder store mengder med nyttig informasjonen, hvis det er vanskelig å finne ut hvor den ligger og hva som blir levert til de forskjellige aktørene. Derfor vil det være en forenkling hvis det kan konstrueres en mer åpen og enkel oversikt over informasjonen som er tilgjengelig. Det vil være et stort fremskritt for bransjen om det blir utarbeidet en standard for dette og at den blir implementert i all programvare. Slik vil utvekslingen av informasjon flyte bedre på tvers av fagområder og programvare. Bygg- og anleggsbransjen bør ta initiativet å starte utarbeidelsen av en standard, slik at de får den informasjonen de vil ha på rett sted. Det er lite trolig at programvareutviklerne ikke vil være med på denne endringen siden dette vil gagne alle, og gjøre deres eget produkt mer brukervennlig. IFC-formatet er en god start, men det er ikke på langt nær ferdig og det gjenstår mye arbeid før dette formatet vil fungere optimalt. Ved å ha et slikt åpent filformat vil det kunne forenkle kommunikasjonen mellom de forskjellige aktørene på et tidlig stadium i prosessen, og feil og mangler vil enklere kun snappes opp og utbedres før en er på byggeplass og endringen blir en uforutsett kostnad.

Et eksempel på en standard som nevnt ovenfor er IDM, Information Delivery Manual, som er en rammeverksstandard som beskriver en metode for å klarlegge hva for informasjon som er påkrevd til hvem og i hvilken form. Den består av tre deler:

- Prosesskart (PM, Process maps) som beskriver informasjonsstrømmen mellom de forskjellige deltagerne i prosessen. Siden bygg- og anleggsbransjen er så fragmentert som den er, vil dette kartet i seg selv bli veldig demonstrativt. Uavhengig av programvare.
- Utvekslingskrav (ER, Exchange requirements) dokumenterer den profesjonelle relevante informasjonen som trengs til hver deltager. Uavhengig av programvare.
- Funksjonelle parter (Functional parts) er kartlegging av ER opp mot et teknisk skjema/format som for eksempel IFC.

(Hjelseth 2009)

Det kan sies at det er opp til bygg-, og anleggsbransjen å ta initiativ til videre utvikling av BIM. Det er ikke programvareleverandørene som skal bestemme hvilket innhold som skal være i standarder til de forskjellige aktørene. Det er bransjen selv som vet hvilken informasjon de trenger for å utføre sine oppgaver (Hjelseth 2009).

Bruk av tre i større bygninger

Tre som byggemateriale har hatt og har sterk tradisjon i Norge. Lafteteknikk og stavteknikk er gode indikasjoner på kunnskapsnivået hos befolkningen i tidligere tider. For disse teknikkene var det kun trevirke som ble benyttet, også for større bygg. Med tiden har diverse bybranner ført til murtvang i de større byene. Dette stoppet utviklingen av trebygg i større skala. På bygdene derimot har det vært frie tøyler og dette er nok mye av grunnen til trevirkes sterke posisjon i bolighusegmentet. Kunnskapen om bruk av trevirke i større bygninger døde delvis ut med denne generasjonen, og lå brakk i mange år. Ved slutten av 1980-tallet ble igjen fokus rettet mot tre som byggemateriale i høyere hus en 1-2 etasjer. Det ble gjennomført en kartlegging av erfaringer fra USA og Canada. Denne viste at det i flere tiår før dette tidspunkt var blitt bygget fleretasjes trehus helt opp i seks til syv etasjer, og at 80-90 prosent av fireetasjers hus ble bygget av trekonstruksjoner (Glasø 2004).

I 1997 ble det vedtatt en endring av teknisk forskrift. Den ledet til en mer funksjonsbasert byggforskrift, i motsetning til konkrete krav til utforming i tidligere versjoner. Dette ga store muligheter for utvikling og innovasjon av trekonstruksjoner. Det ble satset innenfor treindustrien, og noe av forspranget til stål og betong ble hentet inn. Enda er det mange muligheter, og det blir utviklet flere løsninger og erfaringer blir spredd via forum og forskningsprosjekter som gir nye muligheter for treindustrien (Nordheim 2008).

Det er flere konstruksjonshensyn å ta ved trevirke som byggemateriale i større bygg. Det vil her bli gitt et sammendrag av Fokus på tre nr.32: Fleretasjes trehus, hvor det vil bli klarlagt enkelte fokusområder som er spesielle for trekonstruksjoner i større bygninger.

Lyd og brann

Lyd og brann går ofte hånd i hånd. Hvis en dimensjonerer noe for brann, oppfyller en ofte også lydkrav. Lydproblematikk er et problem i alle fleretasjers bygninger uavhengig om det er av tre, stål eller betong. De viktigste lydspredningene å forhindre er flanketransmisjon, trinnlyd og innfesting av bjelker til vegger for slik å få en spredning via vegger og videre til enten etasjen over eller under. Det finnes mengder av preaksepterte løsninger som belyser disse problemene. Dette kan for eksempel finnes i byggdetaljblader fra SINTEF. Når det gjelder brann er det også preaksepterte løsninger på markedet som er fullstendig anvendelige. Disse er derimot kun for brannklasse 1, altså bolighus i 1-2 etasjer.

I brannklasse 2 kan også preaksepterte løsninger benyttes og det kan bygges med tre som bærende og skillende konstruksjon i opp til 4 etasjer, så sant krav i TEK07 etterfølges. Det stilles her typisk krav til brannmotstandstid og bæreevne.

I brannklasse 3, altså for bygg fra 4 etasjer og oppover, kan det også benyttes trekonstruksjoner som bærende og skillende konstruksjoner. Derimot skal det da gjennomføres en fullverdig branndimensjonering av hvert enkelt prosjekt. I brannklasse 3 skal altså konstruksjonen stå igjennom et fullverdig brannforløp og dette stiller strenge krav til egen branndimensjonering.

Brannegenskapene til trevirke er gode, siden trevirke inneholder fuktighet som er med på å forsinke brannforløpet noe. Sprinkling er en meget effektiv metode for å få kontrollert brannen i startfasen, enten ved å slokke den fullstendig, eller ved å bremse opp brannutviklingen i tilstrekkelig tid til at personer kan komme seg ut i sikkerhet. Det gir også en betydelig mindre vannskade, ved slukking, enn det brannvesenet vil bruke ved et senere tidspunkt. For miljø er bruk av trevirke også i forkant av både stål og betong (Norges byggforskningsinstitutt 2003).

Installasjoner

Installasjoner i større trebygninger kan og bør planlegges som andre bygninger, men det er enkelte ting som bør belyses. For eksempel at installasjoner bør ha en viss fleksibilitet som tar høyde for deformasjoner som kan skje i trehus, som svelling, krymping, osv. Lydisolering av tekniske installasjoner er viktig med tanke på lyd. Det bør etterstrebes å få vertikale føringskanaler hvor en samler mest mulig av det tekniske, og forhindre for stor horisontal spredning av tekniske komponenter. For vann og avløp anbefales rør i rørsystemer som forhindrer lekkasjer og gir en god sikring mot fuktskader (Norges byggforskningsinstitutt 2003).

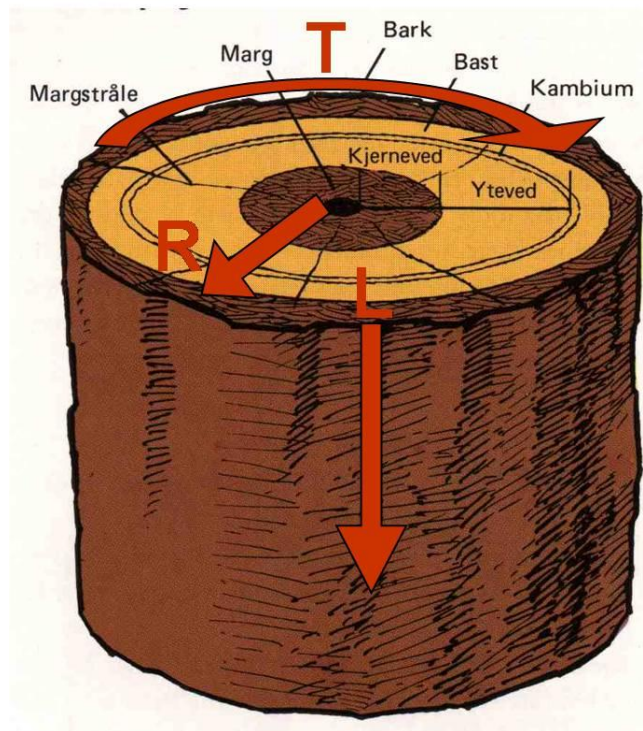
Byggeteknikk og bærende konstruksjoner

I hovedsak er det tre byggeteknikker som blir benyttet. Det er:

- Stendervegg og takstolkonstruksjoner
- Bjelke- og søylekonstruksjoner

- Element/volumbaserte konstruksjon.

Trevirke er et levende materiale. Fuktighetsinnholdet i trevirke kan og vil forandre seg under forskjellig bruk og ved forskjellige faser i et byggeprosjekt. Materialer levert på byggeplass har et fuktighetsinnhold på ca 15-20 %. Etter at bygget har reist seg og vært i bruk en stund vil trevirke nå sitt stabile fuktighetsinnhold alt etter som hva for bygg det er snakk om. I et normalt bolighus vil dette bety en fuktighet på ca 6-10 %. Da har det skjedd en endring i trevirke og dimensjonene vil endre seg (Norges byggforskningsinstitutt 2003).



Figur 1: Tretverrsnitt (Bovim 2009).

Hvor materialet er tatt ut fra stokken vil også ha en innvirkning på tverrsnittsendringen. En kan normalt forvente et R-radialt krymp på 4 %, et T-tangentialt krymp på 8 % og et L-longitudinelt krymp på 0,3 %.

Last og lastvirkning

Trevirke har et stort styrke-/vektforhold, med sin lave densitet i forhold til stål og betong, men allikevel stor kapasitet i bøy og strekk gir trevirke en unik posisjon.

Ved større bygninger av tre må en legge vekt på de vertikale kreftene som vil oppstå ned igjennom konstruksjonen. Store vertikale krefter i bunn av konstruksjonen setter store krav til svillene som blir benyttet. Det bør i hvert fall benyttes sviller av samme materialkvalitet, eller helst høyere. Ren trykkpåkjenning på søyler bør også vurderes slik at det ikke oppstår knusning av søyler ned mot betongfundamenter og lignende.

Trevirke som byggemateriale i bærende konstruksjoner setter enkelte andre krav til dimensjonering enn ved betong og stål. Trykk på tvers av fiber er en av de tingene man bør se opp for. Her kan det oppstå store deformasjoner som skaper uheldige setninger i bygget. Tverrstrekkbrudd ved opplager for søyle-/bjelkekonstruksjoner er et typisk eksempel. Sprekkdannelse langs fiber ved opplegg kan gi katastrofale følger.

Svingningsproblematikk er også noe som bør undersøkes. Som for eksempel å ha en regel om at bjelker ikke bør strekke over mer en ett felt, eller til nød innenfor en boenhet. Dette vil også hjelpe for flanketransmisjonen.

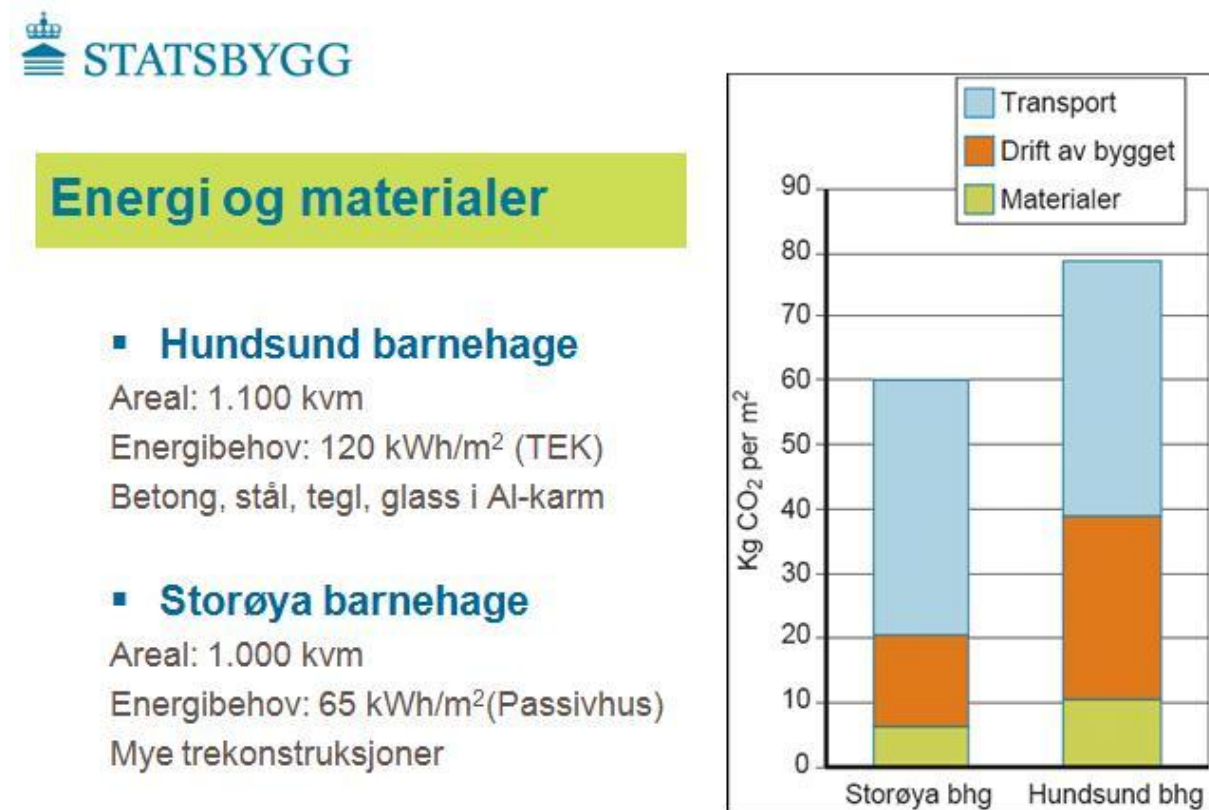
Stabiliteten til høye hus er noe som blir lagt ekstra vekt på. Større veggflater og det faktum at høye bygg har en innvirkning på vindens referansehastighet gir større belastninger på avstivningssystemet i høye trehus. Dette blir sjelden sjekket nøye i bolighus i 1-2 etasjer i dag. Når bygget strekker seg mer i høyden blir det stilt krav til dokumentasjon på byggets stabilitet. Heissjakter og betongvegger som går til grunn kan tas med i stabilitetsberegningen, men i all hovedsak er det vegger og dekker som tar seg av de horisontale kreftene. Dette blir som regel gjort ved platekledning av bindingsverk, eller større plateelementer mellom ramme og/eller bjelke-/søylekonstruksjoner. Her er det platen som tar opp skjærkreftene og bjelkelaget som tar opp aksialkreftene. En er avhengig av å ha randbjelker rundt hele skiven som vil virke som over- og underflens og ta opp bøyninglastene som aksiale krefter. Disse bør være kontinuerlige, ellers må en gjennomføre en detaljert beregning på skjøten enten det er en laskeskjøt eller innslisete stålplater.

Forankring av skivene er også viktig. Dette blir endret drastisk når det blir sparret ut hull i veggene/dekken til dører, vinduer eller føringskanaler for eksempel. Ved innsetting av et vindu doubles forankringsbehovet, mens ved to vinduer tredobles forankringsbehovet. Det er viktig at konstruktøren som har ansvar for stabiliteten kommer inn i planleggingsfasen så tidlig som mulig.

Det er som regel forbindere som er dimensjonerende siden disse i all hovedsak er mye svakere stivhetsmessig enn platen. Så det å velge riktige forbindere vil være en viktig del av det å dimensjonere en skive. Ved å beregne skiver med FEM-analyse (Elementmetoden) kan vi se at det kreves vesentlig mindre forankring og kapasitet til skiven, og særlig da forbindere, enn det den tradisjonelle beregningsmetoden gjør. Skivekonstruksjoner vil bli noe bedre utdypet senere i kapittel 4.1.3, side 57 (Norges byggforskningsinstitutt 2003).

Miljø

Miljø har kommet mer i fokus de senere år. Det er ingen som kan konkurrere med trevirke når det kommer til utslipp av klimagasser ved fremstilling av virke og ved transport og montering på byggeplass. Det kan vises til 50 % mindre utslipp enn ved for eks. betongkonstruksjoner. Se figur 2 for undersøkelser gjennomført av Statsbygg, for to separate eksempelbygg.



Figur 2: Statsbyggs eksempelbygg (Cervenka 2010).

Statsbygg, ved Zdena Cervenka, har utviklet et klimagassprogram som kan knyttes opp mot en BIM-modell. Programmet gir et fullverdig regnskap for utslipp av klimagasser for et ferdig prosjektert bygg. Det kan også tas inn på et tidligere tidspunkt for å vurdere forskjellige

løsninger opp mot hverandre. Dette vil kunne gi en motivasjon hos byggherrer om å gå over fra betong og stål til trevirke som bærende materiale (Cervenka 2010).

De overnevnte punkter kommer i tillegg til standardiserte problemstillinger som er uavhengig av konstruksjonsmateriale.

1.2 Problemstilling

Følgende problemstilling belyses i denne masteroppgaven:

Kartlegge eksisterende bruk av programvare for treindustrien med hensyn på modellering og konstruksjonsanalyse. Finne muligheter og nytten av mer avansert modellerings- og analyseprogramvare for treindustrien, og særlig for større trebygninger.

1.3 Metode og avgrensninger

Først del av oppgaven vil bestå av en kartlegging av tilgjengelig/benyttet programvare for modellering og dimensjonering av trekonstruksjoner. Kartleggingen vil gjennomføres ved å kontakte diverse personer per E-mail for så å avtale en telefonsamtale eller et møte hvis dette er mulig. De utvalgte er personer som min veileder Nils Ivar Bovim har oppgitt og som innehar stor kunnskap om treindustrien og spesielt innenfor sine fagfelt. Når så kartleggingen er gjort vil TEKLA og SAP2000 bli spesielt gått gjennom. Dette betyr å gå inn og se på grensesnitt og muligheter for dette programmet. Dette vil skje gjennom kurs og bistand fått av EDR, Engineering Data Resources AS, i Norge. Det vil også bli studert konkurrerende programvare som REVIT, Robot og DDS, men ikke like dypt som TEKLA og SAP2000. Det vil ikke bli dimensjonert noe i detalj, men heller studert overordnede muligheter med programmene, og når det gjelder analyse rettes fokus mot stabilitetsanalyser, siden dette er et viktig punkt å belyse ved dimensjonering av større trebygninger.

2 Teori

2.1 Modelleringssteori og begreper

Dagens 3D-modelleringsprogram er som oftest parametriske, men parametriske har i denne sammenheng to forskjellige betydninger:

Første betydning av parametriske egenskaper er at modellen er fullstendig BIM-basert, og kan med dette inneholde all den informasjon som trengs for å kunne produsere tegninger, detaljer, mengdelister, osv. for de forskjellige fagområdene. BIM gir mulighet for å gjennomføre kollisjonstester mellom objektene til de forskjellige fagområder som sikrer fremdrift, opprettholder planlagt produksjon og hindrer uforutsette kostnader ved utbedring av byggefeil.

Andre betydning av parametriske egenskaper er at objekter og elementer som blir benyttet for modellering er parametriske. Dette indikerer at det er en kommunikasjon mellom anvendte objekter i modellen, og det objektet man skal koble de sammen med. Skal man forbinde en bjelke og søyle ved å velge en type forbindelse som ligger predefinert i programmet, eller ved en egenkomponert forbinder, vil disse endre størrelse etter de objektene som man skal koble sammen. En innslisset stålplate kan for eksempel ikke være høyere en tverrsnittet av bjelken. Dette forenkler modelleringen vesentlig og er tidsbesparende for bruker. Dette medfører at egendefinerte objekter kun beskrives generelt en gang og at de kan benyttes med ulike dimensjoner og tverrsnitt i en rekke situasjoner senere. Dette gjelder både for komponenter, forbindelser og detaljer.

De fleste programmer er vektorbaserte hvor elementer blir konstruert av vektorer. Slik kan elementene rettes i uendelige mange retninger og gi store modelleringsmuligheter. Det blir bygget opp en 3D-trådmodell av hele bygget. Når så vektorene er blitt definert gis hver enkelt vektor en lokal trådmodell som indikerer et tverrsnitt. Modellen blir så ”dekket” av flater som gir en representasjon av for eks. en bjelke eller plate. Slik dannes et 3D-bilde som er synlig på skjerm, også kalt å renderere en modell.

2.2 Analyseteori

Følgende avsnitt er basert på følgende publikasjoner (Autodesk 2009; Bell 1990; CSI 2010c; Dobson 2003; Huebner 2001).

Innen konstruksjonsfaget finnes det en rekke analyser som må gjennomføres for hver konstruksjon under gitte betingelser. Her kan nevnes:

- Statisk analyse
- Dynamiske analyser

I de fleste avanserte programvarer i dag blir det benyttet FEM-analyse, eller Finite Element Method. Dette er bygget opp på tanken om at hele konstruksjonen blir delt opp i mindre finite elementer. Hvert element er kun festet sammen i nodepunkter. Deformasjoner i hvert element blir representert ved kombinasjoner av nodeforskyvninger og formendringer av elementer. Ut fra dette kan en sette opp et likningssett på matriseform basert på likevektsbetraktninger.

Likningen vil se slik ut i sin fulle form:

$$\mathbf{M} \mathbf{u}''(\mathbf{t}) + \mathbf{D} \mathbf{u}'(\mathbf{t}) + \mathbf{K} \mathbf{u}(\mathbf{t}) = \mathbf{F}(\mathbf{t}) - \mathbf{f}(\mathbf{t}, \mathbf{u}) \quad (2.1)$$

$\mathbf{F}(\mathbf{t}) \Rightarrow$ Lastvektor $[\mathbf{F}]$ avhengig av tid.

$\mathbf{f}(\mathbf{t}, \mathbf{u}) \Rightarrow$ Lastvektor i ubalansert tilstand og avhengig av tid.

$\mathbf{K} \Rightarrow$ Konstruksjonens stivhetsmatrise.

$\mathbf{D} \Rightarrow$ Konstruksjonens dempningsmatrise.

$\mathbf{M} \Rightarrow$ Konstruksjonens massematrise.

$\mathbf{u}(\mathbf{t}) \Rightarrow$ Forskyvningsvektor $[\mathbf{u}]$ avhengig av tid.

$\mathbf{u}'(\mathbf{t}) \Rightarrow$ deriverte av forskyvningsvektoren, altså fartsvektor avhengig av tid.

$u''(t) \Rightarrow$ dobbelderiverte av forskyvningen, altså akselerasjonsvektor avhengig av tid.

Med denne likevektsbetraktningen kan man belyse de fleste konstruksjonsproblemstillinger innenfor de forskjellige analysefeltene angitt ovenfor.

Bruksområder for FEM-analyse kan deles i tre kategorier:

- Likevektsanalyse, eller tidsuavhengige analyse.
- Egenverdianalyse.
- Tidsavhengige analyser.

Likevektsanalyser uavhengig av tid og er typisk for å finne forskyvnings-, og spenningsfordelingen etter en påført last på en konstruksjon. Egenverdianalyser er en statisk stabilitetsanalyse, som typisk utføres for å finne konstruksjonens egenfrekvenser, svingeformer og knekkformer. Tidsavhengige analyser innebærer at tidsdimensjonen blir tilført de to overnevnte analysene.

Følgende er en noe mer detaljert detaljforklaring på de forskjellige analyseformene.

2.2.1 Statisk analyse

Statisk analyse er den vanligste analysemetoden innenfor konstruksjonsanalyse i dag. Dette er en analyse basert på likevektslikninger til en angitt konstruksjon. Gitte antagelser ligger til grunn for at en analyse kan gjennomføres på dette viset. Den viktigste er at lastene som blir påført modellen er kvasi-statiske. Dette vil si at lastene påføres så langsomt at farten og akselerasjonen til massene i konstruksjonen kan antas å være lik null. En kan i tillegg se bort fra treghetseffekten og dempningseffekten til konstruksjonen, dvs. en tidsuavhengig analyse. En slik analyse kalles for statisk tilstandsanalyse. Det er en god del forenklinger i denne analysen som en må være klar over ved bruk av slike analyser. Statisk analyse kan deles inn i lineær og ikke-lineær:

2.2.2 Lineære beregninger

Lineære beregninger er den enkleste og raskeste statiske analysen som kan gjennomføres på en konstruksjon. Forutsetninger for lineær analyse, også kalt 1.ordens teori er:

- Analysen bygger på Hooke's lov: $\sigma = \varepsilon * E$
- Naviers hypotese, "plane tværsnitt forblir plane". Dette indikerer en lineær spenningsfordeling.
- "Små" forskyvninger og rotasjoner.

Sett fra en FEM-synsvinkel gir dette en konstant stivhetsmatrise som er uavhengig av deformasjonens størrelse. Likevektslikningene gir da følgende stivhetsrelasjon:

$$\mathbf{K}_0 \mathbf{u} = \mathbf{F} \quad (2.2)$$

Her er:

Laster representert ved	=>	Lastvektor [F]
Stivhet representert ved	=>	Stivhetsmatrise [K ₀] uavhengig av u
Deformasjoner representert ved	=>	Forskyvningsvektor [u]

Dette systemet kan løses ved enkel matriseregning. Det gir følgende resultater:

- Nodeforskyvninger
- Krefter og spenninger i elementer
- Opplagerreaksjoner
- Reaksjonskrefter i noder

Dette er et enkelt system som tar liten beregningstid for dagens likningsløserne. Lineære beregninger kan være en meget god løsning for å gjøre et raskt overslag av en konstruksjon, og gi indikasjon på om valgt konstruksjon og dimensjon er fornuftig. Men det må presiseres at ved mer avanserte og komplekse konstruksjoner er ikke dette nok dokumentasjon for konstruksjonen. Det må gjennomføres mer avanserte analyser.

2.2.3 Ikke-lineære beregning

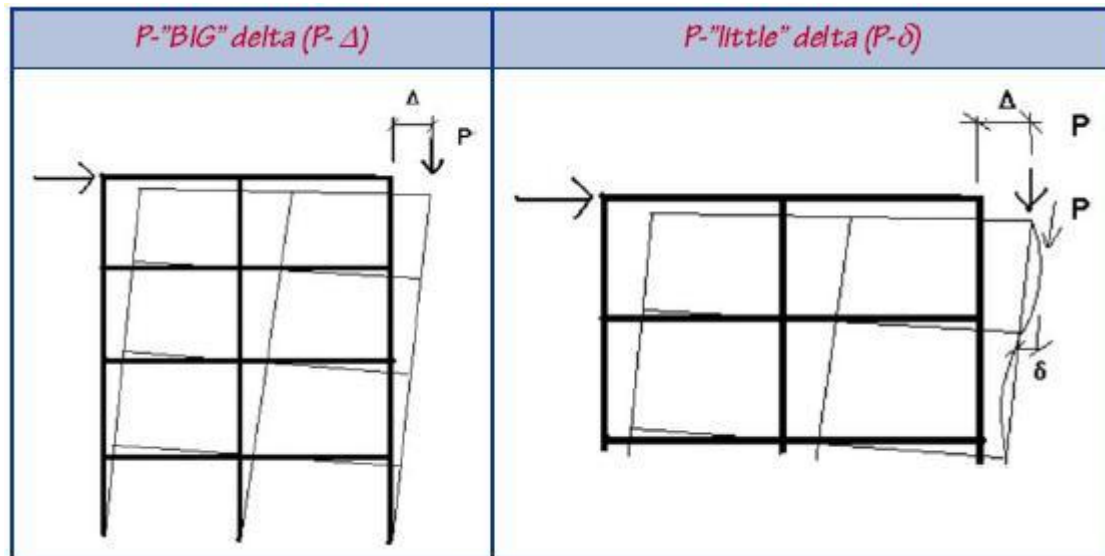
Ikke-lineær beregning omfatter mulighet for mer avanserte statistiske analyser av en konstruksjon. Det er enkelte forutsetninger også for ikke-lineær analyse, i hovedsak tre typer av ikke-linearitet:

- Strukturell ikke-linearitet (på et enkelt element).
- Materialbasert ikke-linearitet (på et enkelt element).
- Geometrisk ikke-linearitet (på hele strukturen).

Strukturell ikke-linearitet forekommer ved at enkelte elementer i konstruksjonen blir gitt ikke-lineære egenskaper. F. eks. trykk og strekkstag som er typisk ved vindavstivning. Disse elementene skal kun ta strekk og for å få til dette må vi foreta en ikke-lineær beregning. Andre eksempler kan være kabler, material plastisitet eller ikke-lineære ledd. Strukturell ikke-linearitet har mange fellestrekk med lineær analyse hvis ingen av de overnevnte komponentene er til stede, men hvis slike elementer er med blir de forskjellige modifikasjonene av K-matrisen tatt med inn i analysen.

Materialbasert ikke-linearitet forekommer ved at materialer blir gitt ikke-lineære egenskaper, som ikke-lineær spenning-/tøyningsrelasjon som elasto-plastisk, plastisk, bilinearitet osv. Dette kan typisk trekkes inn i forbindelser i konstruksjonsanalyser. Hvis forbindere kan gis ikke-lineære arbeidslinjer, som er nærmere virkeligheten, kan forbindelsen gis en bedre kapasitet og det vil bli en optimalisering av forbindelsen og hele konstruksjonen.

Geometrisk ikke-linearitet kommer inn ved å legge inn ikke-lineær teori inn i likevektssystemet, også kalt 2.ordens teori. Dette kan igjen deles i to typer: påvirkning på det indre spenning-, stivhetsforholdet av tverrsnittet, også kalt liten P-delta effekt. Strekk aksialt av bjelker styrker konstruksjonen, mens trykk aksialt av bjelker leder til deformasjon og gir eksentrisitetsbelastninger i konstruksjonen som må tas hensyn til. Neste type er påvirkning av hele konstruksjonens deformasjon i likevekt og dens eksentrisiteter som oppstår av dette, også kalt stor P-delta effekt (Dobson 2003).



Figur 3: Big P-Delta og Little P-Delta (Dobson 2003).

Ikke-lineære beregninger kan være basert på forutsetning av små forskyvninger, ofte kan programmene også ta hensyn til store deformasjoner, se de to neste avsnittene. For FEM-analyse gir en ikke-lineær tilnærming av problemet enkelte endringer i den styrende likevektslikningen. Her kan man også velge om man vil ha med tidsaspektet eller ikke i analysen.

$$(\mathbf{K}_0 + \mathbf{K}_\sigma + \mathbf{K}_N) * \mathbf{u} = \mathbf{F}(t) - \mathbf{f}(t, \mathbf{u}) \quad (2.3)$$

Her er:

$\mathbf{F}(t)$ \Rightarrow Lastvektor $[\mathbf{F}]$ avhengig av tid.

$\mathbf{f}(t, \mathbf{Q})$ \Rightarrow Lastvektor i ubalansert tilstand og avhengig av tid.

\mathbf{u} \Rightarrow Forskyvningsvektor $[\mathbf{u}]$.

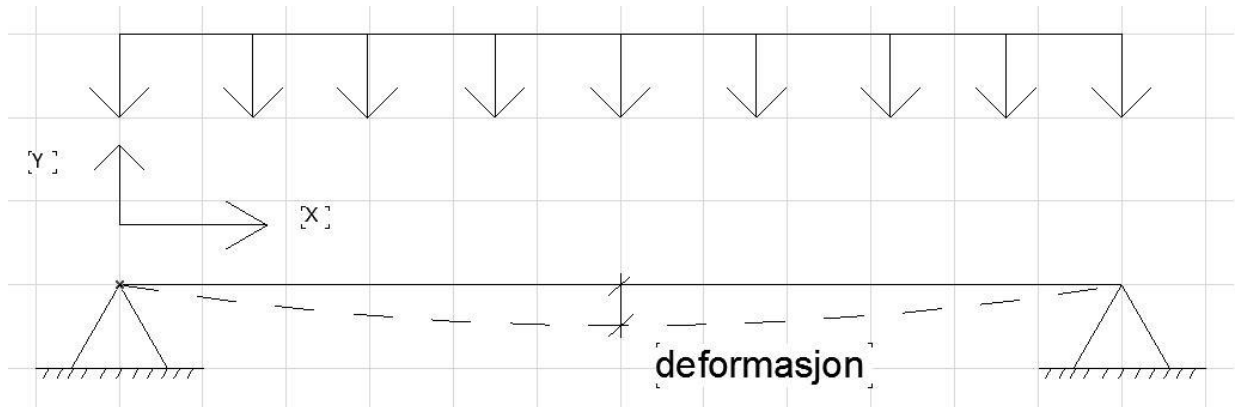
\mathbf{K}_0 \Rightarrow Initial stivhetsmatrise $[\mathbf{K}_0]$ uavhengig av \mathbf{u} .

\mathbf{K}_σ \Rightarrow Spenningsmatrise.

\mathbf{K}_N \Rightarrow Matrise for andre komponenter avhengig av \mathbf{u} .

2.2.4 Små forskyvninger

Et av hensynene å ta ved statiske analyser er forskyvningene som forekommer i konstruksjonen. Det er en forenklet metode hvor man sier at små forskyvninger er en forutsetning. Dette indikerer at forskyvningen på nodene i konstruksjonen er så små at de kan ses bort fra og ikke tas hensyn til ved utregning av hele strukturens deformasjon.



Figur 4: Små forskyvninger.

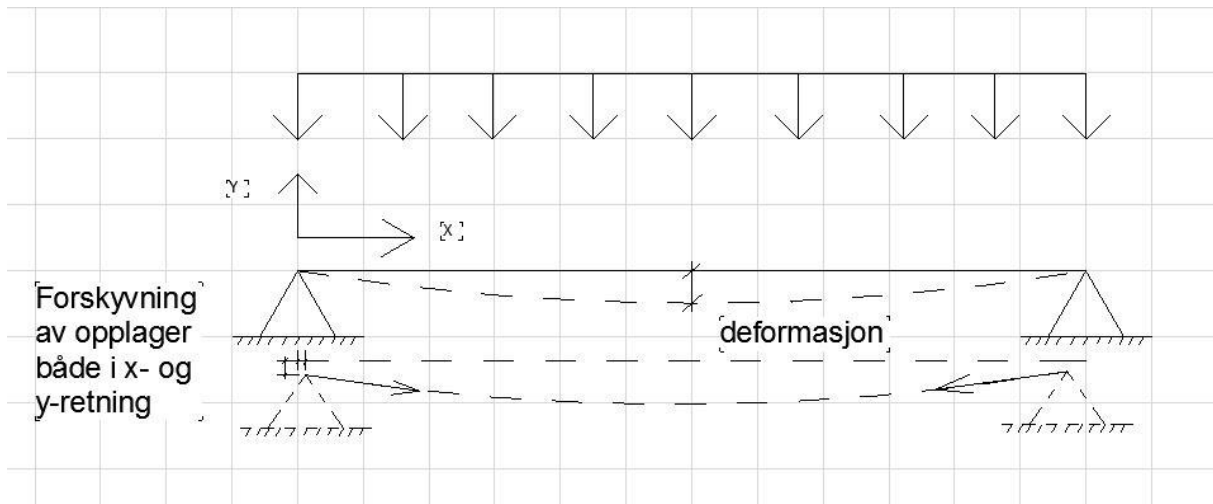
I figur 4 kan en se at nodene i endene av bjelkeelementet ikke får noe deformasjon eller at elementet får aksialkraft. I tillegg antar man at lengden på elementet er uforandret selv om den har fått en deformasjon. Dette er ikke riktig i forhold til slik bjelken vil oppføre seg i virkeligheten. Det er her antatt små deformasjoner som er en forutsetning for blant annet statisk lineære analyser.

2.2.5 Store forskyvninger

Når man så sier at man skal ta hensyn til store forskyvninger indikerer dette at en skal ta hensyn til de nodale forskyvningene i tillegg til de totale strukturelle deformasjonene. Dette vil gi en geometrisk endring av hele strukturen og ved en ikke-lineær analyse må disse geometriske endringene tas med i neste inkrement.

Dette kan enklest forklares ved å ta for seg en vanlig opplagt bjelke. Ved antatte små forskyvninger vil denne bjelken kun få en deformasjon/forskyvning i negativ y-retning på elementet, se figur 4, men med antatt store forskyvninger ser man i figur 5 at deformasjonene

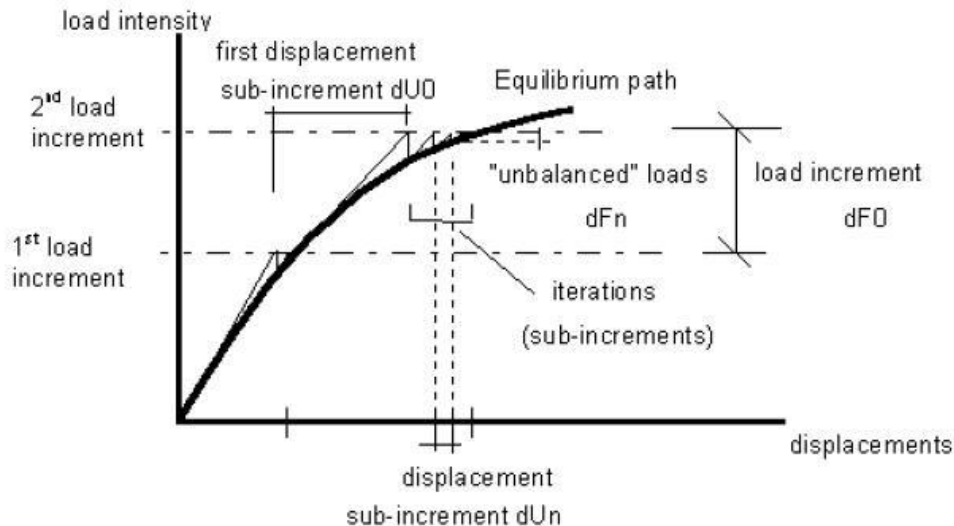
og de indre kreftene i bjelkeelementet endrer seg drastisk i forhold til den foreklede situasjonen.



Figur 5: Store forskyvninger.

Ovenfor ser man at nodene i enden får en forskyvning, eller at noden er fast og at bjelken får en aksial belastning som antydnet med piler i figur 5. Det tas også hensyn til forlengelsen av den buede bjelken etter deformasjonen. Dette skaper en geometrisk endring i modellen og ved en ikke-lineær analyse, typisk P-delta analyse, kan dette bli tatt hensyn til. Ved en større konstruksjon kan dette bidraget av geometrisk deformasjon vise svake sider ved konstruksjonen og skape nødvendige forsterkninger.

For ikke-lineære analyser vil konstruksjonens stivhet, de påførte laster og grensebetingelser kunne bli påvirket av forskyvningen. Konstruksjonens likevekt må bli etablert under de, til en hver tid, gitte betingelser, som ikke er kjent i forkant. For hver likevektstilstand gjennom analysen vil de resulterende likevektssystemene være ikke-lineære. Løsningen kan derfor ikke beregnes direkte ut som ved lineær beregning, men ved en iterativ metode. Gjennom iterasjonsprosessen blir de foregående deformasjonene videreført i analysens neste iterasjonsprosess. Under ser vi en kurve for en inkrementmetode ved ikke-lineær analyse. Funksjonen i figur 6 er en Newton-Raphson funksjon. Den viser den periodiske tilveksten av deformasjoner gjennom en iterasjonsprosess. Dette er en av flere forskjellige funksjoner for iterasjon, men denne gir et godt bilde av hvordan prosessen fungerer.



Figur 6: Eksempel på inkrementfunksjon (Autodesk 2009).

2.2.6 Dynamiske analyser

Dynamiske analyser er et viktig aspekt å ta hensyn til ved analyse og dimensjonering av konstruksjoner. Bygg i bevegelse kan virke ubehagelig i mindre skala og det kan føre til total kollaps under store lastpåkjenninger. Ved dynamiske analyser blir modellen utsatt for laster under andre forutsetninger enn ved en statisk analyse. Dynamiske analyser bygger på Newtons 2. lov:

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} * \mathbf{a} \quad (2.4)$$

Kraft er avhengig av massen til konstruksjonen og akselerasjonen som den blir utsatt for. Her vil lastene ikke være kvasi-statiske, dvs. at lastene som blir påført modellen blir påført slik at massene i strukturen vil få en fart og akselerasjon, og vil bli satt i bevegelse. Etter at lasten har stoppet, hvis det er tidsavhengige laster, vil en også ta hensyn til treghetseffekten og dempningseffekten til konstruksjonen.

I FEM-analyseformuleringen vil den dynamiske delen av analysen komme inn ved egne matriser og vektorer. Fra formel 2.3, side 14 er oppbygningen av likevektsbetraktningen med fart, akselerasjon, masse og dempning tatt med i likningssettet for dynamiske analyser.

$$\mathbf{M} \mathbf{u}''(\mathbf{t}) + \mathbf{D} \mathbf{u}'(\mathbf{t}) + \mathbf{K} \mathbf{u}(\mathbf{t}) = \mathbf{F}(\mathbf{t}) - \mathbf{f}(\mathbf{t}, \mathbf{u}) \quad (2.5)$$

Det er her en sammenheng mellom massen og akselerasjonen (den dobbeltderiverte av forskyvningen til konstruksjonen) og dempningen i konstruksjonen og farten (den deriverte av forskyvningen til konstruksjonen). Ved forskjellige dynamiske analyser vil likevektsbetraktningen bli tilpasset etter hvilke resultater en er ute etter. En må ikke alltid ha med både masse og dempningsmatrisen for eksempel.

2.2.7 Eksempler på analyser med elementmetoden

Nedenfor vil det bli omtalt noen typer analyser, både statiske og dynamiske, hvor utgangspunktet for likevektslikningene blir vist og en ser hvilke aspekter som er med i de forskjellige analysene sett fra en FEM-synsvinkel.

Modal analyse

Modal analyse er en analyse som bestemmer alle frie vibrasjonsformer til en konstruksjon. For å finne de frie vibrasjonene må en vite følgende parametere: egenverdier, egenvektorer, bidragskoeffisienter og massen til strukturen.

Dette er ofte viktig å kunne bestemme egenfrekvensene til konstruksjonen. Dette for å forhindre mulighet for resonans, som kan føre til unormalt store svingninger i konstruksjonen, som den ikke er dimensjonert for. Egenverdiene, ω og svingningsformene, Φ_i , fås fra følgende likning.

$$(\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}) \Phi_i = \mathbf{0} \quad (2.6)$$

ω_i = egenverdier.

Φ_i = egenvektorer.

i = antall svingeformer (definert av bruker).

Harmonisk analyse

Harmoniske analyser er analyser hvor konstruksjonen blir belastet med en last som har en gitt frekvens, eksempelvis typisk bølgesimulering på en oljeplattform. Her vil lasten gis en fast sinuskurvebelastning, se formel 2.8, altså ingen bråe bevegelser. Hvordan konstruksjonen reagerer på lasten løses ut av følgende likevektsbetraktning:

$$(\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}) \mathbf{Q} = \mathbf{F} \quad (2.7)$$

ω = pulsen til lasten

\mathbf{Q} = amplitudeverdi til forskyvningsvektoren

Her får man ut den jevne reaksjonen til konstruksjonen påført en enkel harmonisk last. Lasten blir definert slik:

$$\mathbf{F}(t) = \mathbf{F} \sin(\omega t) \quad (2.8)$$

Spektralanalyse

Spektralanalysens funksjon er å dekomponere konstruksjonen med flere frihetsgradsvingninger, til en struktur med kun en frihetsgradsvingning. Så beregnes reaksjonene til hver svingning for hver frihetsgrad og dette blir så summert i en total statisk reaksjon. Dette er også kjent som superposisjonsprinsippet. Det sier at effekten av to samtidige belastninger av systemet er lik summen av den reaksjonen hver belastning vil ha alene. Dette impliserer den ekstreme reaksjonen for svingningene som konstruksjonen blir utsatt for.

$$\mathbf{KQ} + \mathbf{M} \mathbf{Q}'' = -\mathbf{M} \mathbf{A} \quad (2.9)$$

Seismisk analyse

Seismisk analyse er en simulering av et jordskjelv og dets innvirkning på konstruksjonen. Her kan en finne ut svingningsmønsteret og sammenligne dette med egenfrekvensen til konstruksjonen. Undersøkelsen gir sannsynligheten for å treffe samme frekvens og skape resonans. En kan også finne ut påvirkning på fundamenter osv. slik at man kan dimensjonere de for jordskjelvsbelastninger. Fra analysen kan en også finne ut prosentvise bidrag fra den seismiske lasten på de forskjellige svingeformene som konstruksjonen får. Dette vil da være i forhold til de modale svingningene som konstruksjonen uansett vil ha.

Det er ikke stor forskjell på harmoniske-, seismiske- og spektralanalyser. I hovedsak er det kun tre forskjeller. Den første forskjellen er at i seismiske analyser hentes akselerasjonen fra et gitt spekter i et registrert jordskjelv. Flere av de mest kjente skjelvne er representert i

Eurocode 8, som er en jordskjelvsstandard. Belastningen har da ikke karakter som sinusfunksjon brukt i harmoniske analyser, men kan ha en mer brå og oppstykket lastfunksjon. For spektralanalyser derimot er belastningsfunksjonen egendefinert til hvilken form man selv ønsker, og heller ikke her en sinusfunksjon som for harmoniske analyser.

Tid/historie analyse

Tidsaspektet i FEM-analysen kommer inn her. Her kan man lese ut reaksjoner og belastninger for samlede påførte laster over en gitt periode, i motsetning til andre analyser som kun ser resultater etter utført analyse. Ved å tilknytte en tidsfunksjon til forskyvningene og den påførte lasten i likevektsbetraktningen vil en kunne studere konstruksjonen under hele tidsspekteret.

$$\mathbf{M} \mathbf{u}''(\mathbf{t}) + \mathbf{C} \mathbf{u}'(\mathbf{t}) + \mathbf{K} \mathbf{u}(\mathbf{t}) = \mathbf{F}(\mathbf{t}) \quad (2.10)$$

Pushover analyse

Pushover analyse er en statisk ikke-lineær analyse hvor påførte laster inkrementelt øker med et på forhånd valgt mønster. Dette mønsteret kan typisk være hentet ut fra en jordskjelvstandard og simulere et typisk skjelv. Etter hvert som lasten øker vil en kunne finne svake punkter som sprekker, flytsoner og svikt i ulike strukturelle komponenter. Og lastfrekvenser som er kritisk for strukturen vil kunne bli belyst. Dette er i hovedsak ikke en dynamisk analyse, men grunnet tidsaspektet som kommer inn ved lastpåføringen vil denne analysen ha sine likhetstrekk med harmonisk analyse som er en dynamisk analyse (Habibullah 1998).

2.3 Eurocode 5

I forbindelse med beregning av trekonstruksjoner er det i Eurocode 5 stilt krav som medfører at det bør gjennomføres ikke-lineære analyser ved dimensjonering av trekonstruksjoner. I avsnitt 5.1.4 står følgende:

”Modellen for beregning av indre krefter i strukturen eller i deler av den skal ta hensyn til effekten av deformasjon av forbindelser.”

Dette kan indikere at en skal ta hensyn til den ikke-lineære arbeidslinjen til forbindere som gir et mer korrekt bilde av deformasjonen. Dette er også et avsnitt merket med P som betyr at dette er et punkt som vektlegges høyt i standarden.

Det samme gjelder for avsnitt 5.4.4.1, som også er merket P, som sier:

” ... Effekten av forårsakede forskyvninger grunnet interne krefter og momenter skal bli tatt hensyn til. ”.

I neste punkt, pkt 5.4.4.2 står det videre at:

”Effekten av forårsakede forskyvninger grunnet interne krefter og momenter kan bli tatt hensyn til ved å gjennomføre en 2. ordens lineær analyse.....”.

Dette indikerer at i følge EC5 bør mer avanserte analyser gjennomføres for trekonstruksjoner, for å oppfylle kravene beskrevet i standarden. Dette leder videre til nødvendigheten av nyere og bedre programvare som enkelt og raskere kan gjennomføre påkrevde analyser av nye trekonstruksjoner (Eurocode5 2004).

3 Kartlegging av anvendt programvare i treindustrien

Kommunikasjon

Første del av masteroppgave innebærer kartlegging av programvare for dimensjonering av konstruksjoner som blir brukt i treindustrien i dag. Den kan i utgangspunktet deles i tre hovedgrupperinger:

- Limtreindustrien
- Takstolindustrien
- Ferdighus-/elementhusindustrien

3.1 Limtreindustrien

Her kontaktes tre aktører i bransjen:

- Moelven Limtre
- Martinsons Massivtre (Sverige)
- Trebyggeriet

Moelven Limtre

Moelven Limtre benytter i hovedsak 2D-verktøy. Som dimensjoneringsverktøy brukes Focus 2D og StatCon. Mye av grunnen til at 2D-verktøy benyttes, er at det i all hovedsak arbeides i akser. I denne sammenheng trengs det ofte bare å dimensjonere f. eks. en ramme siden samme ramme benyttes i flere akser. Når det gjelder objektbibliotek, er Moelvens tanke at det er vanskelig å ha et standardisert objektbibliotek siden det sjelden er like konstruksjoner. Ved limtreproduksjon er det ofte unike konstruksjoner som ikke benyttes mer en i et spesielt prosjekt. Et annet aspekt som Moelven belyser er at det vil være lite økonomisk å investere i dyr 3D-programvare for fullstendig modellering (BIM) når bare få prosent av kapasiteten til programmet blir benyttet. Imidlertid ser også Moelven at dette vil være fremtiden innen byggebransjen, altså med et modelleringsverktøy som har enten integrert dimensjonering eller

en ekstern dimensjoneringsapplikasjon. I tillegg kan programvare være kompatibelt med CNC-maskiner i produksjonshaller og slik skape en flyt av informasjonen helt fra prosjekteringsstadiet til produksjon. Dette er hovedtanken til BIM i dag, men Moelven ser forbedring av teknologien er påkrevet før dette er anvendelig for limtreindustrien.

Når det gjelder modellering og tegningsfremstilling til produksjon og montering benyttes CadWork og AutoCad hos Moelven. CadWork er også kompatibelt med CNC-maskinene i produksjonshallen slik at det er en viss informasjonsflyt i produksjonen hos Moelven Limtre (Liven 2010).

Martinsons Massivtre

Martinsons benytter i hovedsak StatCon Glulam til dimensjonering. Andre alternativer er blitt vurdert siden dette programmet nå begynner å bli noe utdatert. RSTAB er prøvd ut, men det er for avansert og tregt i bruk til at det blir lønnsomt for Martinsons å hente det inn som hovedprogram. Så lenge StatCon fungerer vil nok dette bli brukt en stund til. Martinsons er klar over at BIM er på vei inn og at man er nødt til å bli med på utviklingen hvis man ikke skal bli akterutseilt i forhold til betong- og stålindustrien.

Til modellering og fremstilling av tegninger benytter Martinsons Tekla. SAP2000 som er et beregningsprogram med god kobling til Tekla er for avansert og bruker for lang tid til at leverandører som Martinsons kan benytte det. Derimot mener Martinsons at BIM og avansert programvare vil være mer aktuelt for rådgivende ingeniører som kan ta betalt per time, enn for en leverandør som tjener sine penger på å levere så mange kubikk som mulig. Martinsons kan ikke bruke for mye tid på modellering da dette vil sinke produksjonen (Lindgren 2010).

Trebyggeriet

Trebyggeriet benytter seg av RSTAB for analyser og prøver nå også ut Autodesk Robot Structural Analysis Professional, som også er et dimensjoneringsverktøy. Til modellering benyttes Rhino3D som er et meget avansert modelleringsverktøy som kan lage dobbeltkrumme flater m.m. Til litt enklere konstruksjoner benyttes CadWork. Fra Rhino kan man hente ut geometrien fra for eksempel senterlinjer i modellen. I Robot kan man da gi denne en dimensjon og materialkoeffisienter for så å legge til en lastkombinasjon og gjennomføre beregninger på dette.

Trebyggeriet erfarer at IFC ikke fungerer i praksis. Alle aktørene er ikke samkjørte om dette formatet, slik at sat-, step-, og dwg-filer må benyttes for å få ut ønsket geometri. IFC er for omfattende og inneholder for mye informasjon som skaper mer problemer med modellen, enn at den skaper bedre arbeidsformer. Dette underbygger tidligere påstander i BIM-avsnittet 1.1. Man kan løse dette ved å skape en hovedmodell og på et nivå under skape flere undermodeller som inneholder nødvendig informasjon til de forskjellige fagområdene. Slik vil man unngå å levere overflødig og unyttig informasjon til de forskjellige aktørene.

I denne sammenheng oppdages også problemer med kontraktsforhold mellom aktører ved bruk av åpne filformater. Når eksempelvis en leverandør eller produsent mottar en modell fra et rådgivende firma vil man ha en garanti for at modellen er korrekt. Dette gir den rådgivende ingeniøren en risiko som han ikke har måttet ta tidligere. I tillegg kan det bemerkes at posisjonen til den rådgivende ingeniøren er feil i prosjekteringsprosessen. Det er i dag RIB som gjennomfører prinsippprosjektering for så å sende dette grunnlaget til firmaer som leverer løsninger de har spesialisert seg på. Slik fungerer de eksterne firmaene som prosjektør og entreprenør, siden de prosjekterer detaljer og utførelse på nytt med sine løsninger. Dette indikerer at detaljer og prosjektering fra RIB i utgangspunktet ikke blir benyttet fullt ut, og at RIBens posisjon egentlig skaper dobbelt arbeid. Trebyggeriet løser dette ved å være totalleverandør og heller leie inn RIB til å gjøre de oppgavene man selv ikke klarer. Med dette fjerner man dobbelt arbeid i prosjekteringsfasen, ved å eliminere utarbeidelse av to sett med detaljer (Daasvatn 2010).

3.2 Takstolindustrien

Her har kontaktes fire aktører i bransjen:

- Takstolprodusentenes forening.
- CSCE (Construction Software Center Europe AB).
- Kartro AS (ITW Construction Products AS).
- PBM AS (Plater-Beregninger-Maskiner AS).

Takstolprodusentenes forening

Her snakket jeg med Arnold Sagen som er lærer ved Byggskolen og som er sekretær og leder av teknisk utvalg i Takstolprodusentenes forening. Han hadde ikke så stor innsikt i hva som blir brukt hos de forskjellige aktørene. Det de bruker på Byggskolen er ArchiCad for tegning, som han var veldig fornøyd med, og et program som heter TreDim som er et enkelt 2D-program ala Focus 2D. Dette brukes bare for å kontrollere håndregninger i en lærings situasjon (Sagen 2010).

CSCE (Construction Software Center Europe AB)

CSCE i Sverige utvikler og forhandler RoofCon og TrussCon. TrussCon er et dimensjoneringsverktøy for takstoler/fagverk. RoofCon er et modelleringsverktøy for takkonstruksjoner som løser takplaner osv. Programmet TrussCon benytter i hovedsak bare lineær beregning, men har mulighet til ikke-lineær beregning hvis det er spesielle tilfeller som krever dette. TrussCon er et FEM-analyseprogram som benytter en beregningsmetode utviklet av professor Bell ved NTNU.

Det nye programmet PAMIR, som nå utvikles, kan sies å være en sammenslåing av Roof- og TrussCon, men kun i den forstand at begge operasjonene kan gjennomføres i et program. Ellers er dette et program som blir bygget helt opp fra bunnen av med et annet programmeringsspråk enn Roof- og TrussCon. PAMIR er ikke kompatibelt med IFC enda og blir nok ikke det det nærmeste året heller, men det er et mål å bli det med tiden. Hos Roof- og TrussCon er det i hovedsak dxf- og dwg-formater som blir benyttet. Man kan også ta inn con-filer fra DDS. Da henter en inn takkonstruksjonene, som ikke DDS har egne verktøy for, og får slik ut en egen modell av den modellerte takformen og kan bygge opp en takkonstruksjon og gjennomføre beregninger (Hofverberg 2010).

Kartro AS (ITW Construction Products AS)

Kartro AS benytter seg av et program som heter ADT-arkitekt som er et modelleringsprogram, dette programmet har IFC-format. Dette er så samkjørt med et program som heter HSBCad (ala DDS), som er et program som gir ut kapplister og produksjonslister. I tillegg er det kompatibelt med et beregningsprogram ved navn TakCad/Takplan som Kartro utvikler selv. Dette er et beregningsprogram som er spesielt rettet mot takstoler. Kartro sikter mot å komme med IFC-format noe de halvveis har allerede. TakCad begynner å bli noe

utdatert så Kartro skal nå gå over til noe som heter VIEW som de har utviklet i samarbeid med søsterselskapet Alpine i England. Det er mulig man her kan skape grensesnitt opp mot annen Cad-programvare med tiden, hvis det er formålstjenlig.

Kartro gjennomfører også beregninger av andre deler av trebygg hvis dette er av interesse, eksempelvis stabilitetsberegninger av større trebygg, avanserte forskalinger, osv. Dette gjøres da med FOCUS 3D som Kartro har vært med å utvikle. De eier basisen for stabilitetsberegninger i dette programmet. Beregner gjennomføres i hovedsak lineært. Ikke-lineære beregninger er for tunge og tar for mye tid. Det hender det benyttes ikke-lineære analyser hvis det er spesielt komplekse konstruksjoner, men i hovedsak lineære. VIEW skal få IFC-format, men Kartros erfaring er at det er tunge og kapasitetskrevede filer som er tunge å jobbe med (Thorsrud 2010).

PBM AS (Plater-Beregninger-Maskiner AS)

PBM bruker RoofCon og TrussCon. Her er TrussCon dimensjoneringsverktøyet som tar for seg statikken. RoofCon derimot er et takplanverktøy hvor man får opp en 3D-modell med spikerplater, dens størrelse, plassering osv. CSCE som er leverandøren av programvaren har nå under utvikling et nytt program som heter PAMIR som skal erstatte Roof- og TrussCon. PBM er ikke sikre, men tror at dette programmet kommer til å kunne tilby IFC-format slik at det ble kompatibelt opp mot en BIM-modell. Her ville både modellering og dimensjonering være i ett, altså Roof- og TrussCon i ett. Det var Bjørn Norum hos PBM som tipset meg om å kontakte Mats Hofverberg i CSCE, som er programvareutvikler der (Norum 2010).

3.3 Ferdighus-/elementhusindustrien

Her kontaktes tre aktører i bransjen:

- Unikus AS
- Faktor Eiendom AS
- Data Design Systems AS (DDS)

Unikus AS

Unikus er leverandør av prosjektering for Mesterhuskjeden som har en stor andel av bolighusproduksjonen i Norge. Unikus bruker Revit Architecture til å modellere sine hus, som i hovedsak er kataloghusene til Mesterhus. De har brukt DDS før, men har nå gått over til Revit av stabsgrunner.

For dimensjonering bruker Unikus StatCon og TrussCon. Når det gjelder produksjon er det i hovedsak byggmestere som er konstruktørene og dette fører til at det i hovedsak er mest tradisjonell tømring som blir benyttet. Byggmestrene er i bunn og grunn negative til mer prosjektering for de ser ikke nytten av det. Byggmestrene mener de kan bygge hus godt nok, så trenger ikke mer prosjektering.

Siden Unikus har liten del av prekapp/prefab er det ikke så aktuelt med mer avansert programvare. Unikus mener at BIM og mer prosjektering kan komme inn i bolighusproduksjonen ved at kommunene begynner å kreve dette i prosjekteringen (Bjørnbakk 2010).

Faktor Eiendom AS

Faktor Eiendom har utviklet et eget program i Excel som de bruker til modulene sine. Her kan man legge inn informasjon som lengde, bredde, brystningshøyder, osv. Mater så Intent(Autodesk) med denne informasjonen som så bygger opp modellen ut fra den informasjonen som blir gitt. Man kan bygge opp et eget regelverk for hva programmet skal mate ut (IDM, Information Delivery Manual). Slik får Faktor Eiendom informasjon som kan gis direkte til robotene i produksjonshallen. Tilnærmet ferdige tegninger kan hentes direkte ut, men man må av og til gjøre noen mindre rettelser, men ca 85 % av tegningene er ferdig. Her implementeres elektro og VVS og man får ut ferdige kapplister og mengder til prising. Faktor Eiendoms fabrikk i Rakkestad er en banebrytende fabrikk hvor alt er automatisert og mye av produksjonen skjer ved montasje av roboter. Robotene blir styrt fullstendig av modellen fra Intent, og det er slik en direkte kobling fra start til slutt. Det er i hovedsak bæring av stål som blir benyttet, men Faktor Eiendom mener at det ikke skal være noe problem å gå over til bæring av tre, såfremt de kan få roboter som håndterer gode nok forbindelser. I dag produserer robotene stendervegger av tre som fyller ut mellom hovedbæringen, så noe kunnskap har de allerede.

Intent er prototypen til Autodesk og Faktor Eiendom har selv vært med på å utvikle finesser som trengs for sin fabrikk. De regner med å gå over til Revit med tiden. Her kan man da ha hele prosessen, mens på nåværende tidspunkt settes dimensjonering bort til en rådgivende ingeniør (RIB).

For tegning benytter Faktor Eiendom AutoCad Architecture. Dette eventuelt for å rette opp eller føye til diverse på de ferdige tegningene fra Intent (Kristiansen 2010).

DDS, Data Designe Systems

For kommunikasjon og presentasjon av DDS, se avsnitt 4.3.

3.4 Oversikt over firmaer og anvendt programvare:

Tabell 1: Limtreindustrien

Firma	Programvare	Modellering	Dimensjonering
Moelven	Focus 2D		X
	StatCon		X
	CadWork	X	
	AutoCad	X	
Martinsons	StatCon		X
	Strusoft		X
	Tekla	X	
Trebyggeriet	RSTAB		X
	Robot Structure		X
	Rhino 3D	X	
	CadWork	X	

Tabell 2: Takstolindustrien

Firma	Programvare	Modellering	Dimensjonering
Kartro AS (ITW Construction Products AS)	ADT arkitekt	X	
	HSBCad	X	X
	TakCad/TakPlan (utgående)		X
	Skal gå over til VIEW		X
PBM AS	RoofCon	X	
	TrussCon		X
	PAMIR (Kommer)	X	X

Tabell 3: Ferdighus- og elementhusindustrien

Firma	Programvare	Modellering	Dimensjonering
Unikus AS	Revit Arkitekture	X	
	StatCon		X
Faktor Eiendom AS	Intent+egenutviklet	X	(X)
	AutoCad	X	
DDS AS	DDS-CAD Arkitekt og Konstruksjon	X	(X)
	DDS-CAD MEP	X	

4 Presentasjon av modellerings- og analyseverktøy.

Modelleringsprogrammer

For byggebransjen har 3D-modellering blitt en revolusjon innen prosjekt- og byggeteknikk. Det innehar et potensial for bransjen ved bedre drift og oversikt over bygg under oppføring og i alle prosjekteringsfaser.

3D-modellering er direkte å bygge opp en fullstendig modell av ønsket bygning i et 3D-grensesnittprogram. Her kan man detaljere etter ønske og etter posisjon i planleggingsprosessen. I et skisseprosjekt er man interessert i hovedomrisset av ønsket bygning. Her er ikke detaljnivået høyt, men jo lenger ut i prosessen man kommer, til for- og detaljprosjekt, jo mer detaljert blir modellen. I nyere modelleringsprogrammer kan detaljnivået være massivt. Alt fra bærende konstruksjoner, elektro, VVS, akustikk osv. kan ligge i en og samme modell. Dette gir BIM, bygningsinformasjonsmodellering, sitt massive fortrinn i en prosjekteringsammenheng. Ved at en og samme modell inneholder all nødvendig informasjon gjør at man til en hver tid har en bedre kontroll over prosjektet. Denne kunnskapen tas med videre ut til produksjonsfasen og gir en god oversikt over hele byggets kompleksitet. Så nyere modelleringsprogramvare er mer enn bare tegningsproduksjon, noe CAD-programvare med 3D-modell er blitt assosiert med i noe lenger tid.

Analyseprogrammer

Analyseprogrammer har kommet så langt i utvikling at det i mange sammenhenger kan være vanskelig å se forskjellen mellom modellerings- og analyseprogramvare. De har også kommet over i 3D-verden og renderer sine analysemodeller på samme måte som modelleringsprogrammene, men den vesentligste forskjellen ligger i ordet analyse. I disse programmene er det analysen som står i sentrum og ikke mengden av informasjon i modellen. Ønsket er å ha en modell som inneholder så lite informasjon som mulig, eller bare relevant informasjon. Siden analyse står i fokus er det bærende konstruksjoner som er av interesse. Unødvendig informasjon vil bare forsinke analysetiden og hemme fremdrift.

I etterfølgende kapitler vil det bli presentert to sett av modelleringsprogrammer og analyseprogrammer som har gode forutsetninger for godt samarbeid. Disse programmene er ledende innen utviklingen av 3D-programvare og representerer godt nivået på programvare innenfor segmentet. Modelleringsprogrammene er Tekla Structure og Revit Structure, og analyseprogrammene er SAP2000 og Robot Structural Analysis Professional.

I tillegg til de fire overnevnte programmene vil det også bli tatt for seg et modelleringsprogram ved navn DDS, Data Design Systems, som er et ledende program for prosjektering av mindre trehus. Dette har ikke noen kobling til noe analyseprogram, men er ellers et godt BIM-produkt.

4.1 Tekla og SAP2000

Produsent Tekla

TEKLA er et finsk produkt. Firmaet ble etablert i 1966 i Esbo i Finland og har med tiden utviklet seg til å bli et firma med internasjonalt omfang. TEKLA Corporation har kontorer i Sverige, Finland, Danmark, Storbritannia, Frankrike, Tyskland, USA, Japan m.fl. De utvikler og selger sin programvare til mange forskjellige bransjer; bygg, industri, offshore m.fl. Firmaet har kunder i over 90 land og har 460 ansatte. Arbeidsmetoden til Tekla er å støtte bedrifter i prosjektering og utvikle programmer i samarbeid med kundene (Tekla 2010a).

Produsent SAP2000

Computers & Structures, INC ble startet i 1975 i USA. SAP2000 er blitt utviklet av Dr. Edward L. Wilson ved Berkeley Universitetet i California i samarbeid med daglig leder hos CSI, Ashraf Habibullah. SAP2000 er ment for avanserte konstruksjoner som broer, dammer, stadioner, industribygninger og andre større bygninger. De har også utviklet to andre programmer som heter ETABS og SAFE. ETABS er et program som tar spesielt for seg høyetasjes hus som kontorbygninger, sykehus osv. SAFE er rettet mot betongdekker for dimensjonering og utførelse av disse (CSI 2010b).

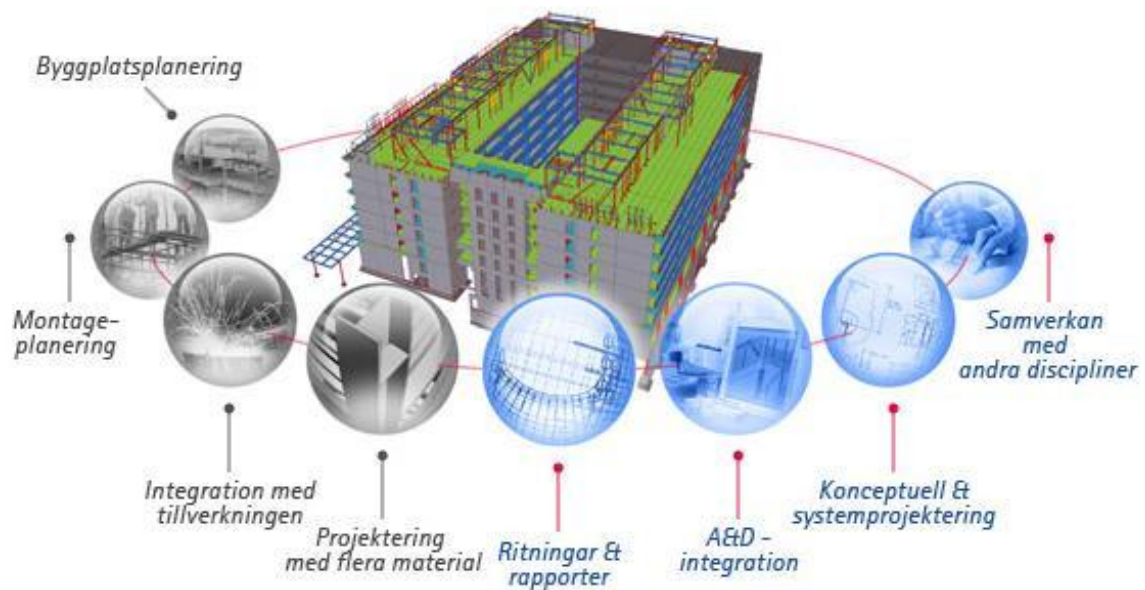
Leverandør av overnevnte programmer

Leverandør av TEKLA Structures og SAP2000 i Norge er EDR AS, Engineering Data Resources AS. EDR AS leverer programvareløsninger for 3D-modellering av konstruksjoner,

styrkebergninger og strømningsanalyser. De ble etablert i 1986 av et firma ved navn Offshore Design AS. De solgte seg ut etter en stund og EDR AS er nå eid av de ansatte pluss noen eksterne investorer. EDR AS har vært en leverandør av TEKLA siden 2000 og SAP2000 siden sommeren 2009 (Berg 2010).

4.1.1 Tekla Structure 16.0

Tekla Structure er et fullverdig BIM (Building Information Modelling) program som tar for seg hele byggeprosessen. Det er mengder av informasjon som skal fordeles og behandles i et byggeprosjekt. Det å kunne behandle informasjon bedre for å forbedre planlegging og produksjon har et stort utviklingspotensial i byggebransjen i dag. Tekla Structure kan i dag ta hånd om alt fra forprosjektering, konstruksjonsplanlegging, produksjon, leveranse og installasjon. Dette gir programmet en BIM-prosess som tar for seg hele prosjektet fra start til slutt.



Figur 7: BIM-prosessen i Tekla (Tekla 2010c).

Programmet gir bygningsingeniøren et verktøy for å håndtere alle typer prosjekter. Tekla egner seg godt som grunnbasen i et prosjekt hvor Tekla-modellen er selve BIMen. Alle fagområder kan benytte seg av informasjonen som ligger i modellen og hente ut nødvendig informasjon som de trenger for å gjøre sin jobb i prosjektet.



Figur 8: Aktører i Tekla-prosessen (Tekla 2010d).

På konseptstadiet kan en bruke programmet til å lage flere forskjellige modeller. Her kan nevnes forskjellig design for sammenlikning, integrere med analyse og konstruksjonsprogram for å optimalisere bæresystem, sammenlikne arkitektmodeller for å skape bærekraftige bygg og lage konstruksjonstegninger og rapporter med mengdeuttak for kalkyler med mer.

Filformat og kommunikasjon

Kommunikasjonen skjer ved utveksling av informasjon i forskjellige filformater. Tekla støtter de fleste formater som blir brukt i dag:

- IFC, DXF, DWG, DGN, XREF, SDNF, CIS/2, ASCII,.NET m. fl.

I tillegg har de et eget utviklet programmeringsgrensesnitt som kan tilpasses eventuell programvare som ikke har standard filformat, eller for programmer som vil ha direkte link til Tekla. Dette heter Tekla Open API, eller Application Programming Interface. Dette gir brukere og leverandører mulighet til å lage egne programmer som de kan koble direkte opp mot Tekla-modellen. Eksempler her er Excel, Word, MatCad osv. Programmet deles via microsoft.net-formatet. Det kan her lages koblinger som gjør at programmene kan hente ut

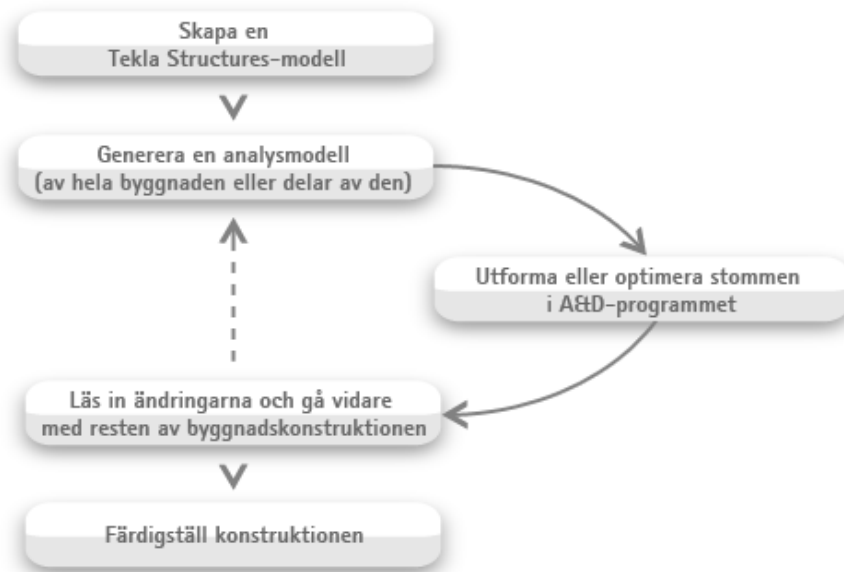
informasjon fra modellen, gjøre en beregning, for så å levere tilbake resultatet til modellen. Beregning av standardforbindelser kan beregnes separat i Excel og levere tilbake en rapport. Slik har man en fullverdig rapport for hele prosjektet i en og samme modell, selv om programmet i seg selv ikke løser forbindelsesberegninger.

Mellom Tekla og SAP2000 er det utviklet en direkte kobling som er basert på API. CSI kontaktet Tekla og viste interesse for å skape en kobling som ville fungere bra, noe de nå har arbeidet med en stund og kan levere.

Analyse

Å integrere analyse- og design-programvare er noe det blir fokusert mer på for å få opp effektiviteten hos de rådgivende ingeniørene og hos produksjonsbedrifter.. Det er ikke effektivt å måtte modellere samme bygg flere ganger for å gjøre forskjellige arbeidsoppgaver. Programvareleverandørene jobber stadig med å koble programmer sammen. Dette er en viktig del i bygningsinformasjonsmodellering.

Tekla benytter seg av et brukergrensesnitt som gjør at brukeren kan bygge modellen både fysisk og analytisk. Det indikerer at programmet kan skape en analytisk modell ut fra den fysiske modellen. Ved å bearbeide analysemodellen, etter eget ønske, får man en modellen som er så realistisk som mulig. En kan også lage flere analysemodeller av samme fysiske modell slik at en kan gjøre endringer eller ha forskjellige lastkombinasjoner. Dette gir en god mulighet til å sammenlikne og vurdere forskjellige design ut fra en og samme modell. Man kan gjennomføre analyse på modellen og gjøre nødvendige endringer for så å føre endringer tilbake til modellen. Altså er det åpen kommunikasjon begge veier mellom analyseprogrammet og Tekla. Kommunikasjonen avhenger noe av benyttet analyseprogram.



Figur 9: Analyseprosess (Tekla 2010e).

Tekla støtter følgende analyseprogram:

- SAP2000, STAAD.PRO, S-FRAME, FEM-design, GTSrudl, ROBOT, Dlubal, RFEM og RSTAB

Tegninger og rapporter

Tegninger og rapporter er det viktigste hjelpemiddelet mellom konstruktør og entreprenør i forhold til hvor, når og hvordan forskjellige arbeidsoppgaver skal løses. Det er i den sammenheng meget viktig at alle tegninger og rapporter er oppdatert til en hver tid. Det er et ofte forekommende problem i dagens byggeprosess, at det ikke foreligger nødvendige eller oppdaterte tegninger på byggeplass. Dette fører til mange byggefeil som igjen fører til store økonomiske konsekvenser som kunne vært unngått ved oppdaterte tegninger og tegninger til rett tid.

Tekla Structure lager alt av tegninger og rapporter som trengs for å fullføre et ønsket bygg. Alt fra plan, snitt, fasade til detaljer og i tillegg fulle rapporter om materialer, mengder osv. Disse blir også oppdatert fortløpende under modellering slik at de til en hver tid er korrekte. Slik blir eventuelle endringer av tegninger fort revidert, og nye tegninger kan komme raskt ut på byggeplass til de som trenger de mest.

Prosjektledelse

Tekla kan også bidra vesentlig på prosjektledersiden. Det å ha en 3D-modell forenkler forståelsen både for entreprenør og for prosjektledelsen. Det er mye enklere å se feil og mangler i en 3D-modell enn på 2D-tegninger. Det kan også gjennomføres kollisjonstester mellom modellene til de forskjellige faggruppene slik at byggefeil kan oppdages før problemet er reelt på byggeplass.

Det kan opparbeides oversikter over tilvirkning av komponenter, fremdrift, tegninger, rapporter over mengder, osv. Tekla har fått et godt samarbeid med et program som heter VICO Software som er et fullverdig 5D-program. Her kan 3D/4D-modellen overføres fra Tekla til VICO og det kan legges til en femte dimensjon, nettopp pris. Dette gir en fullverdig modell med oversikt over 3D-modell, tidsbruk/tidsplanlegging og priskalkyle. En kan også knytte nødvendig bemanning til hver arbeidsoppgave slik at bemanningen har en link med antatt tid for arbeidsoppgaven. Dette hjelper prosjektledere til å få full oversikt over alle aspekter i et prosjekt og hjelper til for å få til en optimal prosjektprosess.

CNC-styringsfiler

Tekla støtter de fleste MIS-system(Management Information Systems) og ERP-systemer (Enterprise Resource Planning). Det er åpne grensesnitt som gjør at overføring av forskjellig informasjon skjer via standardformater. Noen av systemene kan eksportere tilbake informasjon til modellen i Tekla for å berike modellen med for eksempel monteringsstatus, produksjonsplanlegging og bemanningsjusteringer.

Tekla støtter også CNC-format (Computer Numeric Controlled) som er et styringsformat for automatisering av produksjonsprosesser. Det kan være styringsfiler til kappsager, automatiserte arbeidslinjer osv.

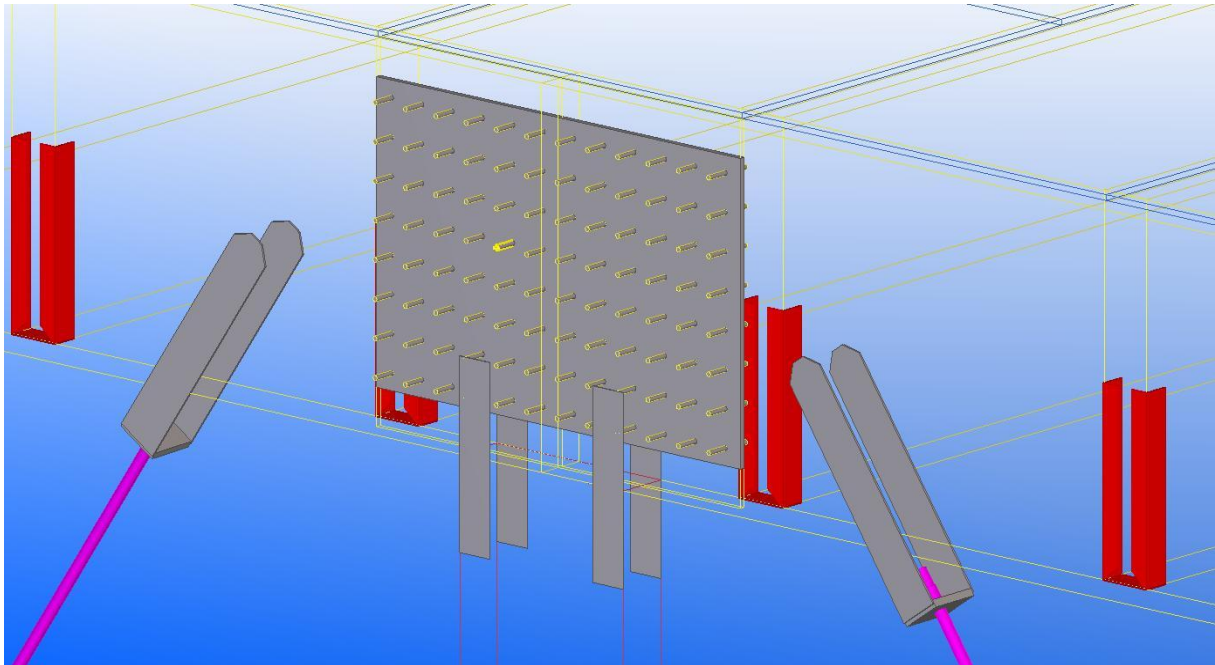
For treindustrien

Tekla er ikke fullt utviklet for treindustrien, men det er fullt mulig å modellere trekonstruksjoner i Tekla. Tekla var i starten et rent stålprogram og har i den sammenheng lagt størst vekt på stål og siden betongindustrien som er et stort marked. For disse fagområdene finnes det en rekke standardløsninger for forbindelser som kan benyttes. Her kan

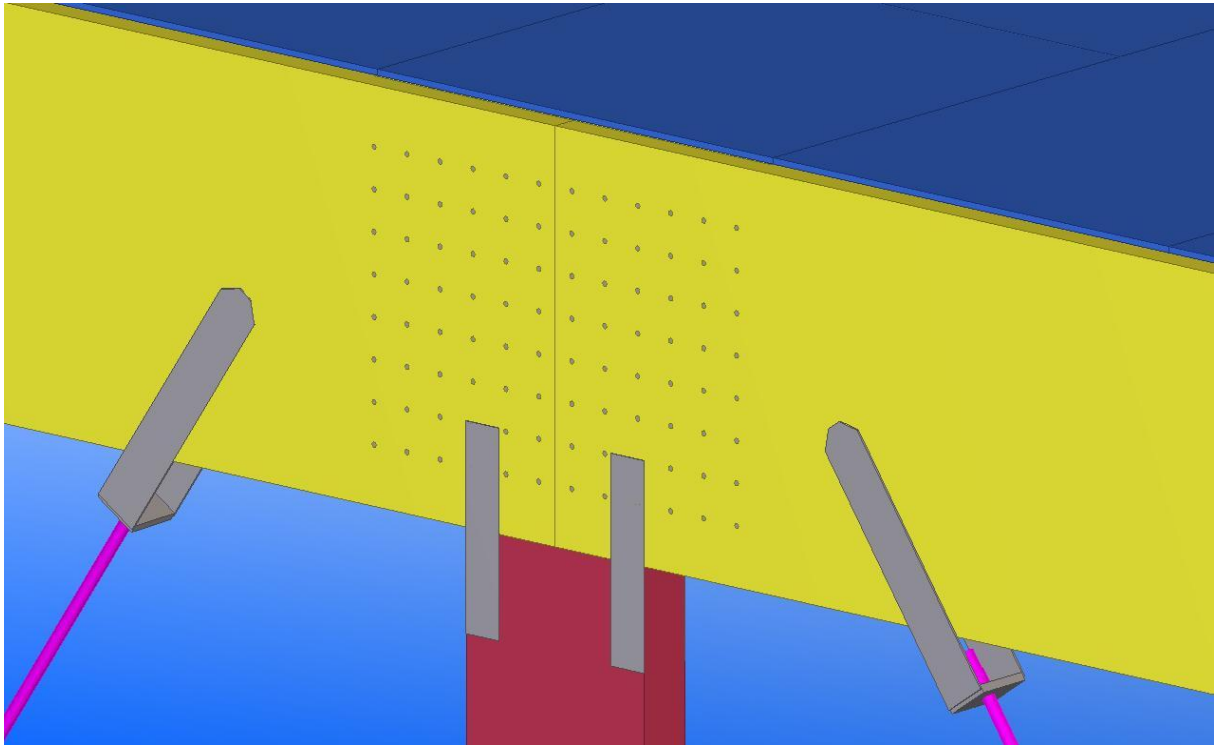
nevnes: fotplater, søyle-/bjelkeforbindelser av forskjellig slag og for betong finnes det armeringsmuligheter osv.

I Tekla ligger det inne forskjellige materialdata for trekomponenter, som C24, C30 osv., men ingenting på limtre eller platematerialer. Det vurderes å sette i gang med å implementere trekonstruksjoner, og i den sammenheng er det innledet et samarbeid med Martinsons i Sverige som benytter seg av Tekla til modellering. Martinsons har utviklet en rekke egentilpassede komponenter (Custom Components) som de bruker til sine prosjekter. Dette er typisk forbindelser, forankringer osv. De har også utviklet egne materialdata som de har gitt til egne trekomponenter. Dette er typisk limtreegenskaper som de benytter seg av i sine modeller, men dette er kun til deres eget bruk.

Det er for alle å lage egne komponenter i Tekla. Disse kan man lagre i egne firmamapper som en kan bruke videre i andre prosjekter, men det er ikke noe som er standardkomponenter fra Tekla sin side. For eksempler på "Custom Component", se figur 10 og figur 11 nedenfor. Her er det bjelkesko, hullplater, egenutviklede vindstag og innslissed stålplate med ståldekker.



Figur 10: Tekla-modell, Egentilpassede komponenter (Custom Components).



Figur 11: Tekla-modell. Rendrerte egentilpassede komponenter.

Disse egentilpassede komponentene kan utformes i detalj til hvilket nivå man ønsker. De kan også gjøres parametriske slik at de tilpasses i forhold til de elementene de tilegnes til. Slik som høyde på innslisset stålplate og antall bolterader og kolonner stilles inn automatisk etter høyde på tretverrsnittet og angitt lengde på stålplaten. Dette kan bidra til å gjøre modelleringen meget effektiv for type industrialisert modulbygg. Her brukes samme modul og objekter flere ganger istedet for å sitte og modellere samme modul og dets detaljer hver gang. Det er det Martinsons i Sverige har gjort med sine moduler. De komponentene som de har utviklet er komponenter de bruker ofte og kan enkelt settes inn i modellen der de ønsker. Dette kan man spare masse tid på, og kan produsere mer effektivt (EDR 2010; Tekla 2010b).

4.1.2 SAP2000 14.0

For å få innsikt i hvordan programmet fungerer og programmets grensesnitt, er kurs absolutt å anbefale. Her får man god innføring i hvilke muligheter som ligger i programmet, grensesnitt og praktisk bruk av programmet.

SAP2000 kan i dag tilby et fullverdig 3D-program for rammestatikk, plateanalyser, strukturanalyser og dimensjonering etter EC2, EC3 og NORSOK. Det kan foretas dynamiske

og ikke-linære analyser. Forbindelser blir ikke håndtert i programmet slik at skal det gjennomføres analyser av disse må dette gjøres i annen programvare.

Modellering

SAP2000 er et vektorbasert 3D-renderingsprogram. Programmet er bygget opp av nedtrekksmenyer som styrer hele modelleringen. Alt av materialer, tverrsnitt, laster, lastkombinasjoner, osv legges inn via egnede nedtrekksmenyer. Det kan velges mellom profiler via SAP2000 sin profildatabase. Databasene kan konverteres til Excel og redigeres etter eget ønske, eller man kan skape egne hvis dette er ønskelig. Det går også å benytte seg av direkte editering, altså å bygge modeller ved å skrive inn koordinater til noder osv. for så å trekke objekter mellom disse. Dette gjøres da i en interaktiv database editeringsfunksjon som så kjøres i programmet og du får ut en ”ferdig” modell.

De største mulighetene i SAP2000 ligger i koblingen til de forskjellige modelleringsprogrammene, for eksempel Tekla. Da kan bygget modelleres i Tekla, for så å overføre modellen til SAP2000 for analyse. Det kan/må gjøres forbedringer av modellen i SAP2000 for å skape en så riktig modell som mulig, slik at resultatene er reelle. Det beste er å gjøre analysemodellen i Tekla, eller annen modelleringsprogramvare, så korrekt som mulig slik at modifikasjonene i SAP2000 blir begrenset.

Elementtyper

Det finnes en rekke forskjellige elementtyper i SAP2000. Disse har forskjellige egenskaper tilpasset sitt felt. En modell som blir bygget opp i SAP2000, eller som blir overført fra annen modelleringsprogramvare, blir konstruert av disse elementtypene. Det er en generell regel at alle elementer skal ha samme geometri som den virkelige komponenten. Følgende elementtyper finnes i SAP2000:

Point objects, of two types:

- **Joint objects:** Are automatically created at the corners or ends of all other types of objects, and they can be explicitly added to model supports or other localized behavior.

- **Grounded (one-joint) link objects:** Are used to model special support behavior such as isolators, dampers, gaps, multi-linear springs, and more.

Line objects, of two types:

- **Frame/cable/tendon objects:** Are used to model beams, columns, braces, trusses, cable, and tendon members.
- **Connecting (two-joint) link objects:** Are used to model special member behavior such as isolators, dampers, gaps, multi-linear springs, and more. Unlike frame/cable/tendon objects, connecting link objects can have zero length.

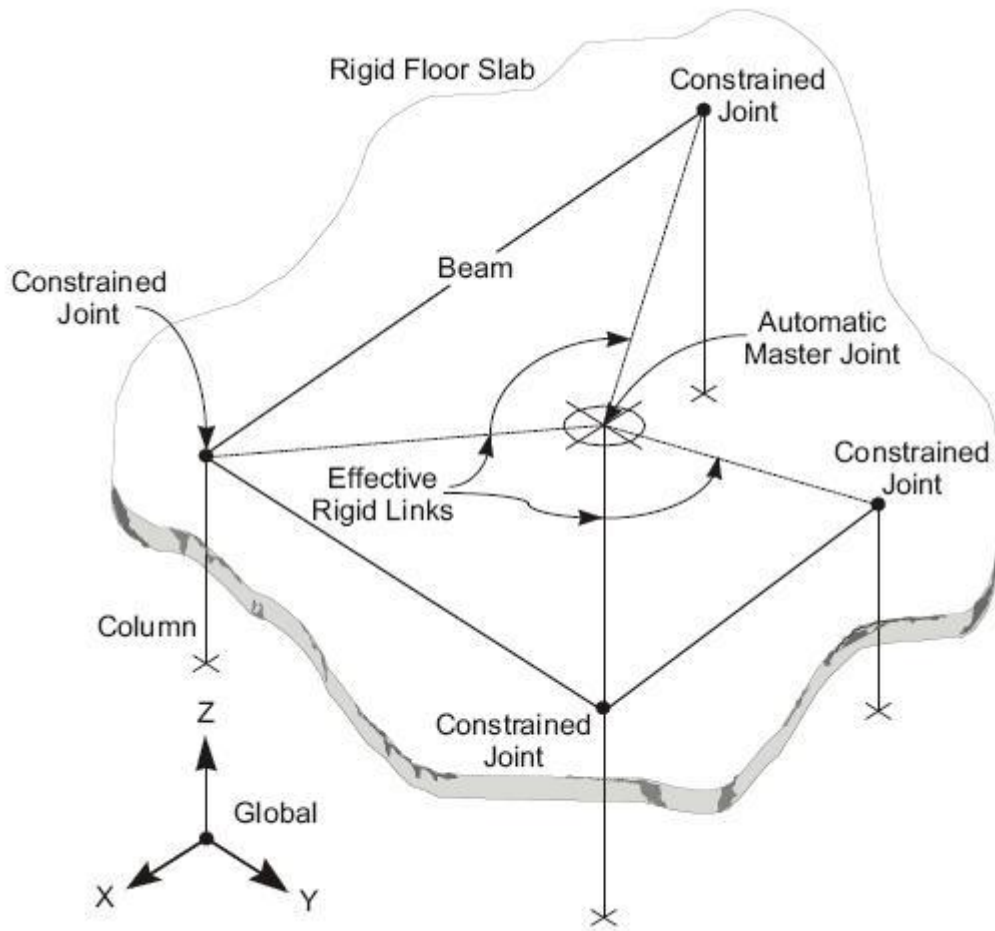
Area objects: Are used to model walls, floors, and other thinwalled members, as well as two-dimensional solids (plane stress, plane strain, and axisymmetric solids).

Solid objects: Are used to model three-dimensional solids.

(CSI 2009)

Elementene i SAP2000 kan gjøres ortotrope. Dette gjør at treelementer kan gjøres så virkelige som mulig, siden tre er et ortotrop materiale. Trevirke har tre hovedretninger, radielt, tangentielt og longitudinelt, med forskjellige egenskaper i hver retning. Forskjellig styrkekapasitet, krymp, osv. gis de forskjellige retningene etter valgt materiale.

SAP2000 har også kontaktelementer og mulighet for å ha forbindelser mellom skallelementer. Ved analyse av skivekonstruksjoner er man avhengig av at inndelt mesh arbeider sammen for å gi en så riktig analyse som mulig. I SAP2000 er det en egen funksjon som heter "Diaphragm Constraint" (skivekobling), som er spesielt egnet for skiver i horisontalplanet. Hver skivekobling kobler sammen flere sammenføyninger/ledd, og gjør at alle sammenføyninger/ledd beveger seg sammen i planet. Koblingen består av en stiv kobling i planet, men som ikke påvirker ut-av-planet deformasjoner.



Figur 12: Diaphragm Constraints i SAP2000 (CSI 2010c).

I SAP2000 kan man også definere egne koblinger mellom elementer. En kan gi disse forskjellige egenskaper som for eksempel å sette inn en fjærkobling som man kan gi ikke-lineære arbeidslinjer. Det er store muligheter for å benytte seg av dette ved beregning av skivekonstruksjoner. Skiver består ofte av plater som skal festes til underliggende eller overliggende bjelkelag, og forbinderne mellom plate og bjelke kan ha en ikke-lineær arbeidslinje.

Analysemetoder

Analyseprinsipper for SAP2000 er i henhold til analyseteori utdypet i avsnitt 2.2. Nedenfor er en oversikt over analyser som SAP2000 kan gjennomføre.

SAP2000 ANALYSIS:

- Static Analysis with Frame and Shell Objects (A, P, B)
- Response Spectrum Analysis with Eigen or Ritz Vectors (A, P, B)
- P-Delta Analysis (A, P, B)
- Joint Constraints including Rigid Bodies & Diaphragms (A, P, B)
- Applied Force and Displacement Loading (A, P, B)
- Gravity, Pressure and Thermal Loading (A, P, B)
- Layered Shell Element (A, P, B)
- Post Tensioning in Frame, Area and Solid Objects (A, P, B)
- Relaxation & Anchorage Slip Losses in Tendons (A, SC)
- Plane, Asolid and Solid Objects (A, P)
- Time History Analysis, including Multiple Base Excitation (A, P)
- Frequency Domain Analysis – Power Spectral Density (A, P)
- Moving Loads (A, P, BR)
- Time Dependent Concrete Creep & Shrinkage Effects (A, SC)
- Frame Hinges for Axial, Flexural, Shear & Torsional Behavior (A)
- Nonlinear Static Pushover Analysis (A)
- Viscous Dampers (A)
- Fiber Hinges (A)
- Base Isolators (A)
- Gap Object for Structural Pounding (A)
- Time History with Wilson FNA or Direct Integration Methods (A)
- Dynamic Effects of Moving Loads (A, P, BR)
- Segmental Construction Analysis (A, SC)

BUCKLING

- Buckling Analysis Around Any Nonlinear State (A)
- Element-Based P-Delta Effects for Local Buckling Instabilities (A)

LARGE DISPLACEMENTS

- Large Displacement/Small Strain Analysis (A)
- Nonlinear Large Rotations Cable Analysis (A)

FREQUENCY DOMAIN

- Steady State Analysis (A, P)
- Power Spectral Density (PSD) Analysis (A, P)
- Frequency Dependent Properties for Links/Supports (A, P)

NONLINEAR MATERIAL BEHAVIOR

- Pushover Analysis Using Fiber Models (A)
- Viscous Damper with Nonlinear Exponent on Velocity Term (A)
- Base Isolator with Biaxial Plasticity Behavior (A)
- Hinges offer P-M-M Interaction with Moment-Curvature (A)
- Section Designer – Mander Model for Confined Concrete (A)
- Pivot-Hysteresis and Takeda Models for Plastic Link Behavior (A)
- Double-Acting Friction Pendulum Isolators (A)

(CSI 2010a)

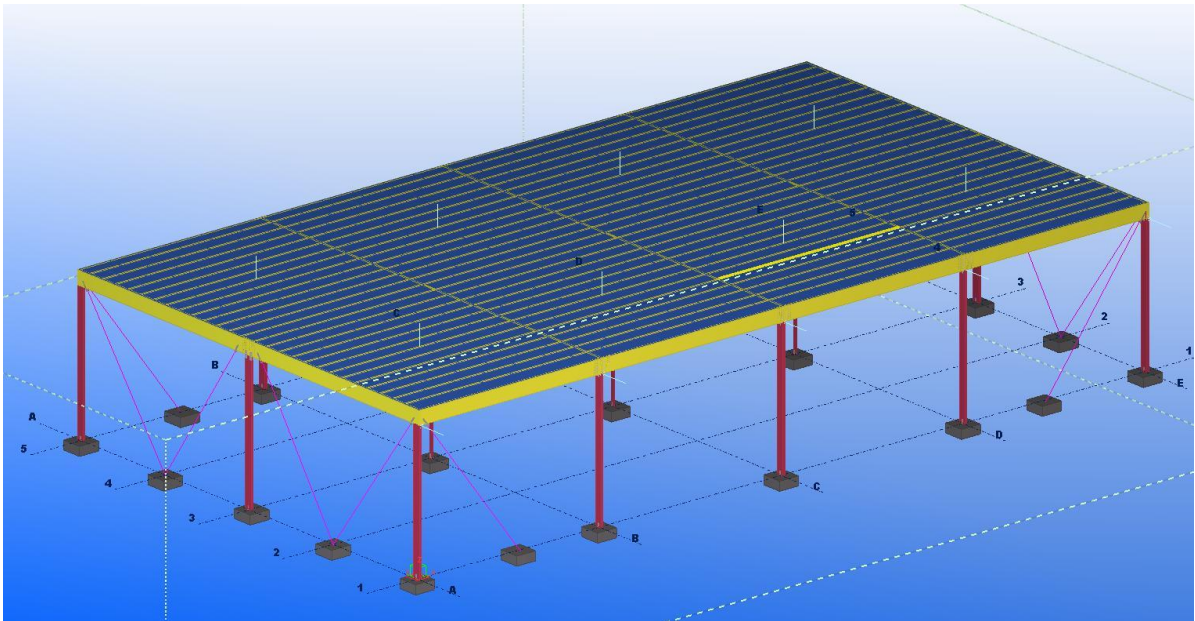
A, P B, SC, OS og BR som står i parentes bak de forskjellige analysene indikerer forskjellige versjoner av programmet.

- A = Advanced
- B = Basic
- P = Plus
- SC = Staged construction
- OS = Offshore/wave
- BR = Bridge

Alle resultater kan skrives ut/lagres i enten html, tekstfil eller excelfiler. Dette gjør at en enkelt kan hente ut ønsket informasjon for siden å behandle dette i andre filformat (CSI 2010c).

4.1.3 Eksempelbygg

I forbindelse med masteroppgaven er det bygget et eksempelbygg i Tekla som så skal overføres til SAP2000. Dette vil belyse brukermulighetene for modellering av trekonstruksjoner i Tekla. Modellen er detaljmodellert for å belyse bredden i programmet.



Figur 13: Tekla-modell. Fysisk modell.

Det er et enkelt bygg, bestående av søyler og bjelker av limtre med kryssfinerplater i taket. Modelleringen skjer ved å skape et ønsket grid-system og å plassere ut ønskede fundamenter, søyler og bjelker. En kan enkelt plassere ut hjelpepunkter for å distribuere bjelker med gitt senteravstand osv.

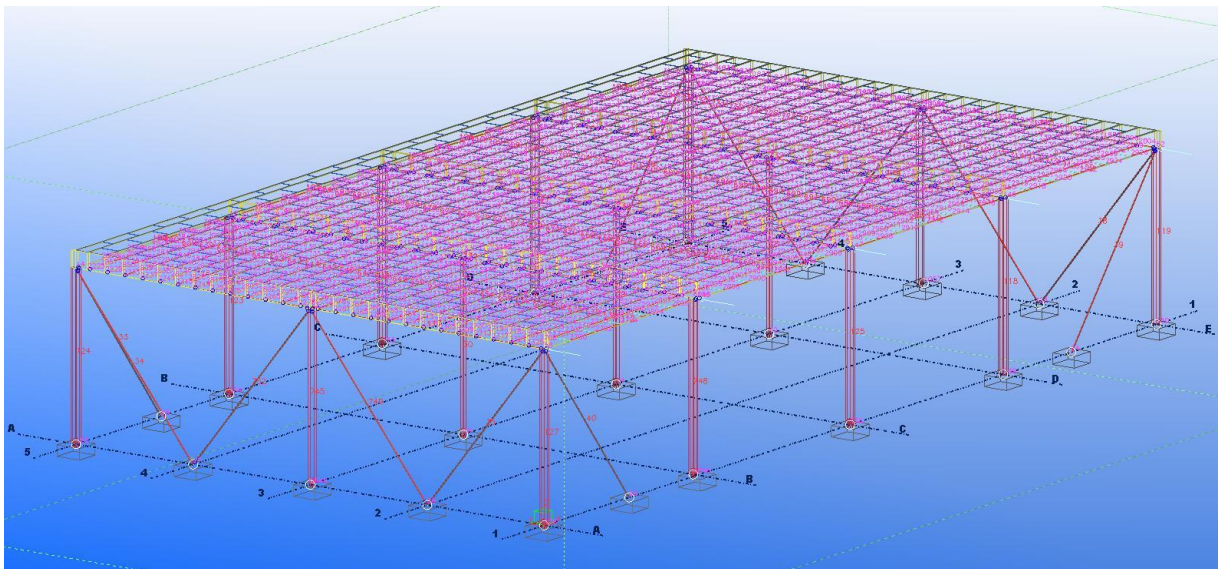
Bygget er også detaljmodellert med komponenter, hvor noen er egenutviklet og noen er utviklet av Martinsons i Sverige. Fra Tekla-modellen får en direkte ut 3D-modellen, tegninger, rapporter, analysemodell og styringsfiler, type CNC med mer. En kan også tilegne modellen laster og lage egne lastkombinasjoner i Tekla som en kan videreføre til et analyseprogram.

Noe som er viktig ved beregning av større trebygg er avstivning mot horisontale krefter fra vind. Derfor er det lagt vekt på å kartlegge mulighetene for å hente ut relevant informasjon i forbindelse med skivekonstruksjoner, men også overordnet annen informasjon. Det presiseres

at bygget ikke er dimensjonert slik at deformasjoner, momenter og aksiale krefter kan være for store og at forbindelser ikke er realistiske, men det er ikke fokuset i dette eksempelbygget. Fokuset ligger på å vise mulighetene for BIM innenfor treindustrien.

Analysemodell

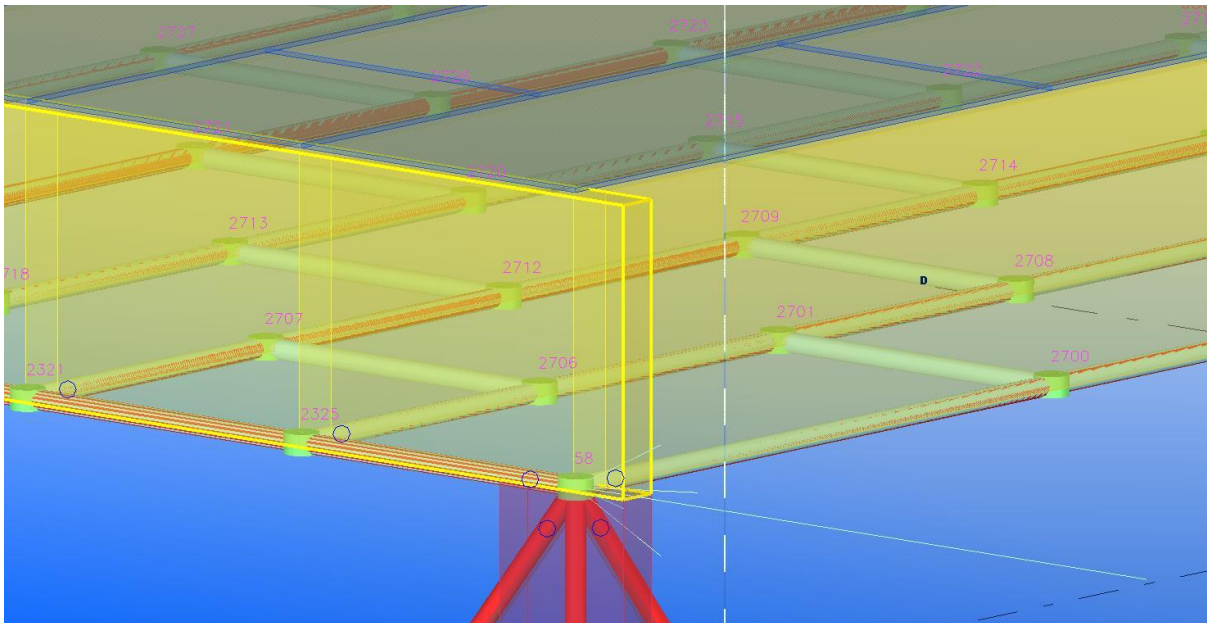
Når modellen er ferdig modellert kan en lage flere forskjellige analysemodeller i Tekla. Dette gir fordeler ved at en kan ha flere forskjellige lastkombinasjoner man kan undersøke. Dette kan enkelt løses ved å lage flere forskjellige analysemodeller med forskjellige egenskaper. Det er også mulig å gjøre endringer i hver enkelt analysemodell, hvis dette er ønskelig. Nedenfor er et bilde av analysemodellen for eksempelbygget fra Tekla.



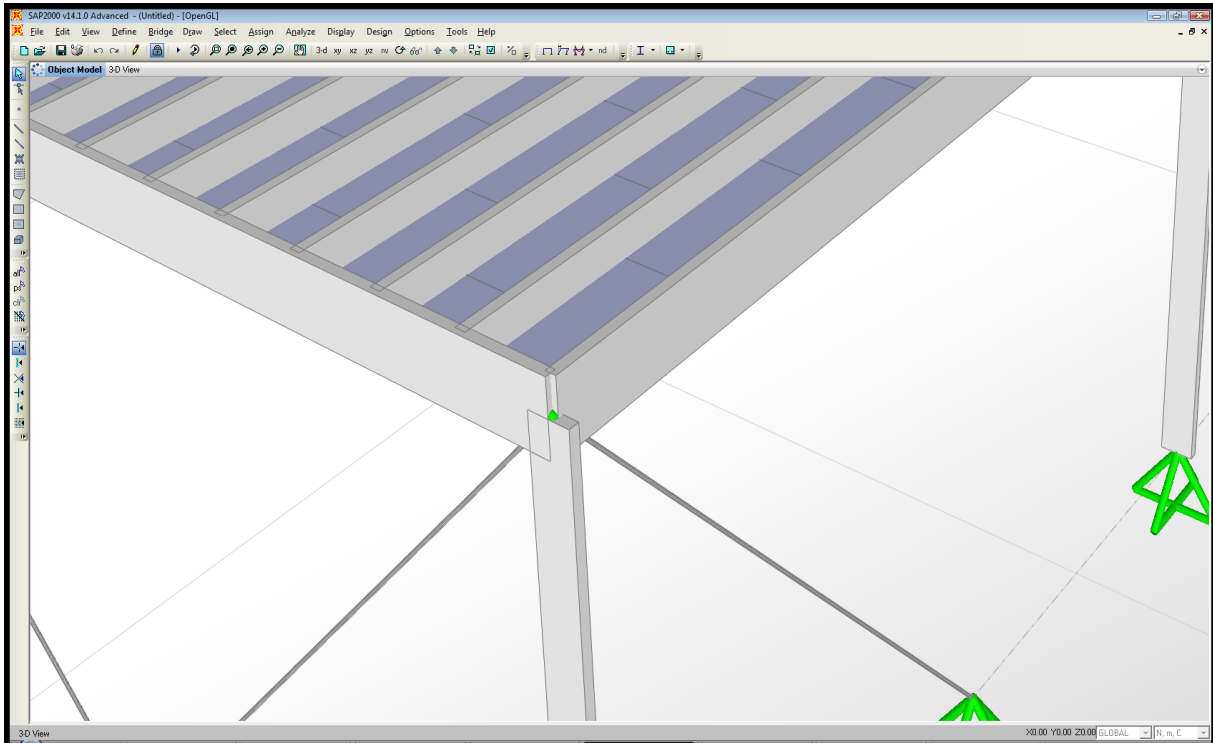
Figur 14: Tekla-modell. Analysemodell.

Analysemodellen er en node-analyseelementmodell, siden den skal bli analysert i et FEM-program som bygger på node-analyseelementoppbygging. Dette forenkler også muligheten for å kunne gå over modellen og undersøke om noder og analyseelementer henger sammen slik at en eventuell analyse vil bli gjennomført korrekt. FEM-analysen, benyttet i de fleste analyseprogram, forutsetter at modellen henger sammen i alle noder. Er det et analyseelement og node som er løs vil disse bare få uendelige forskyvninger og analysen vil være misvisende. Ved overføring til SAP2000 blir det gjennomført en sjekk av modellen og en får opp en rapport hvor en kan se eventuelle feil ved modellen.

Analyseelementer og noder kan være plassert forskjellige steder i et modelleringsselement. Analyseelement kan ligge i forskjellige posisjoner som nøytralakse, referanseakse osv. i et modelleringsselementtverrsnitt. Dette gir muligheter for å skape en så riktig tilnærming til den virkelige situasjonen som mulig. En kan også gi analyseelementene offset-verdier slik at de kan ha en plassering i den fysiske modellen, men at analyseelementet vil ligge et annet sted i analysemodellen. Dette er blitt gjort i eksempelbygget med kryssfinerplatene i taket. De ligger på toppen av takbjelkene, men ved analyse skal disse ikke ta noen bøyningsspåkjenninger fra vertikale laster. Dette er løst ved å legge inn en offset på platene slik at de ligger i nøytralaksen til bjelkene i både x- og y-retning slik at bøyningsspåkjenningene er lik null. På bildet nedenfor ser vi at platene er antydnet med blått på toppen av bjelkelaget, mens nodene og analyseelementene til platene er i bunnen av bjelkene. Grunnen til at analyseelementene til bjelkene er i bunnen, er for at de skal bli tilknyttet søyler og strekkstag. På bildet fra SAP2000 (figur 16) ser vi at den grønne noden ligger midt i bjelketverrsnittet og at platene også ligger midt i tverrsnittet.



Figur 15: Tekla-modell. Analyseelementer.



Figur 16: SAP2000-modell. Skiveplassering i nøytralakse.

Dette belyser et problem, eller en utfordring ved modellering og produksjon av analysemodeller. En kan ikke modellere uten å tenke på at man skal ha en analysemodell ut av det man modellerer. Skal man modellere en modell kun for å hente ut tegninger trenger en ikke å tenke på analysemodell, men skal en overføre modellen til et analyseprogram må man ha dette i bakhodet hele tiden under modelleringen. Dette vil minke arbeidet med å utbedre analysemodellen og effektivisere arbeidet i prosjektet. Bruker en mye av de samme elementene og har standardiserte moduler kan man lagre disse med definert beliggenhet av analyseelementene og nodene. Dette vil forenkle modelleringen og man slipper å modifisere analysemodellen hver gang.

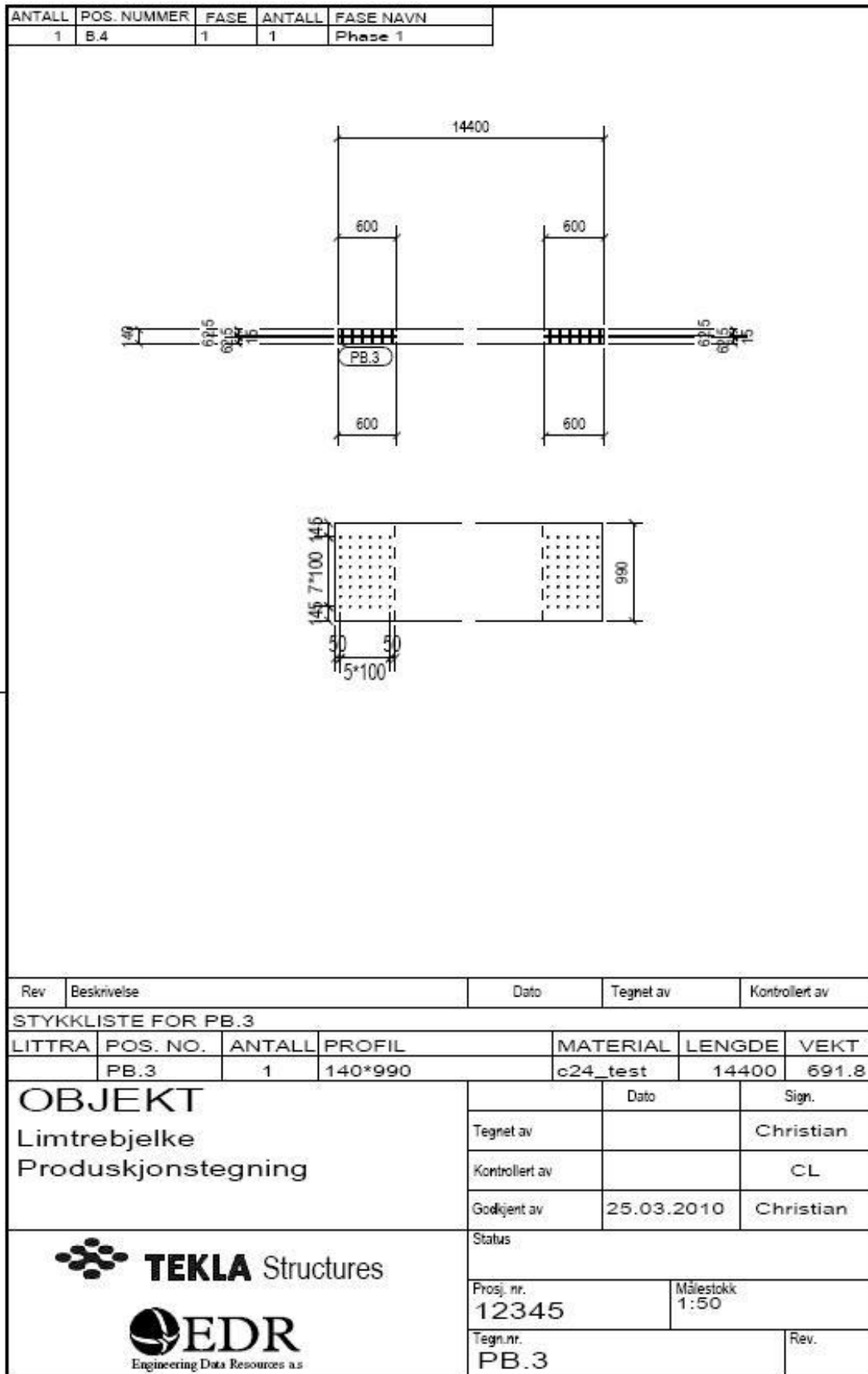
Rapporter og tegninger

Fra Tekla kan en hente ut alt av tegninger og rapporter som en trenger til et prosjekt. Plan, snitt, fasade, mengdelister, osv kan hentes ut og legges ved som dokumentasjon ved en anbudskonkurranse eller til en produksjonssituasjon. Ved endringer av 3D-modellen vil tegninger og rapporter bli oppdatert fortløpende slik at det ikke oppstår feilkilder eller revisjonsfeil. Se figur 17 for eksempel på en rapport og figur 18 og 19 for tegninger. Dette er eksempler hentet direkte ut fra Tekla. Den første er en materialliste, og de to neste er produksjonstegning av limtrebjelken som er randbjelkene i eksempelbygget. Her er slissen og

hullene tegnet automatisk inn og kantavstander, senteravstand og annen målsetting settes inn etter ønske. Det er også forskjellige innstillinger for automatisk målsetting som man kan benytte seg av. Neste tegning er en takplan for eksempelbygget. Her ser man at snitt og detaljer blir automatisk merket på tegningen. Man kan enkelt velge hva det er en skal ha tegning av og dette forenkler tegningsproduksjonen vesentlig. Se vedlegg 1 for full rapport og vedlegg 2 for tegninger av eksempelbygget.

MATERIALLISTE				PROJEKTNUMMER: 12345			
PROJEKT: Case-bygg				DATO:		22.04.2010	
Navn	Assembly	Ant. (stk)	Dimension (mm)	Lengde (mm)	Vol/st (m ³)	Vol. tot (m ³)	Area (m ²)
PLATE	A.1	4	PL2.5*65	90	0.00	0.00	0.0
Randdrager	B.2	4	140*990	16270	2.25	8.98	38.4
Randdrager	B.3	2	140*990	14328	1.98	3.95	34.0
Randdrager	B.4	1	140*990	14400	1.98	1.98	35.6
Randdrager	B.5	1	140*990	14327	1.98	1.98	34.0
BALK	B.6	103	140*990	14255	1.98	203.5	32.5
BALK	B.7	6	140*990	16130	2.23	13.36	38.1
Randdrager	B.8	2	140*990	14400	1.98	3.95	35.6
Randdrager	B.9	1	140*990	14328	1.98	1.98	34.0
BALK	B.10	1	140*990	14255	1.98	1.98	32.5
BALK	B.11	11	15*790	1200	0.01	0.15	2.0
BALK	B.12	1056	D12	140	0.00	0.02	0.0
Randdrager	B.13	1	140*990	14400	1.98	1.98	35.6
BALKSKO SPECIAL	BALKSK	106	PL2.5*90	145	0.00	0.04	0.3
BALKSKO SPECIAL	BALKSK	106	PL2.5*70	145	0.00	0.03	0.3
GRUNDSMIDE 250	GRUNDS	15	PL15*250	250	0.00	0.02	0.2
Kryssfiner 15mm	MB.1	635	15*1200	2400	0.04	27.43	5.9
Kryssfiner 15mm	MB.2	26	15*1200	1200	0.02	0.56	3.0
PELARE	P.1	8	540*140	9935	0.75	6.01	13.7
PELARE	P.2	2	540*140	9935	0.75	1.50	13.7
Sentersøyler	P.3	1	540*140	9935	0.75	0.75	13.7
Sentersøyler	P.4	1	540*140	9937	0.75	0.75	13.7
Sentersøyler	P.5	1	140*200	9935	0.28	0.28	6.8

Figur 17: Eksempel på rapport.

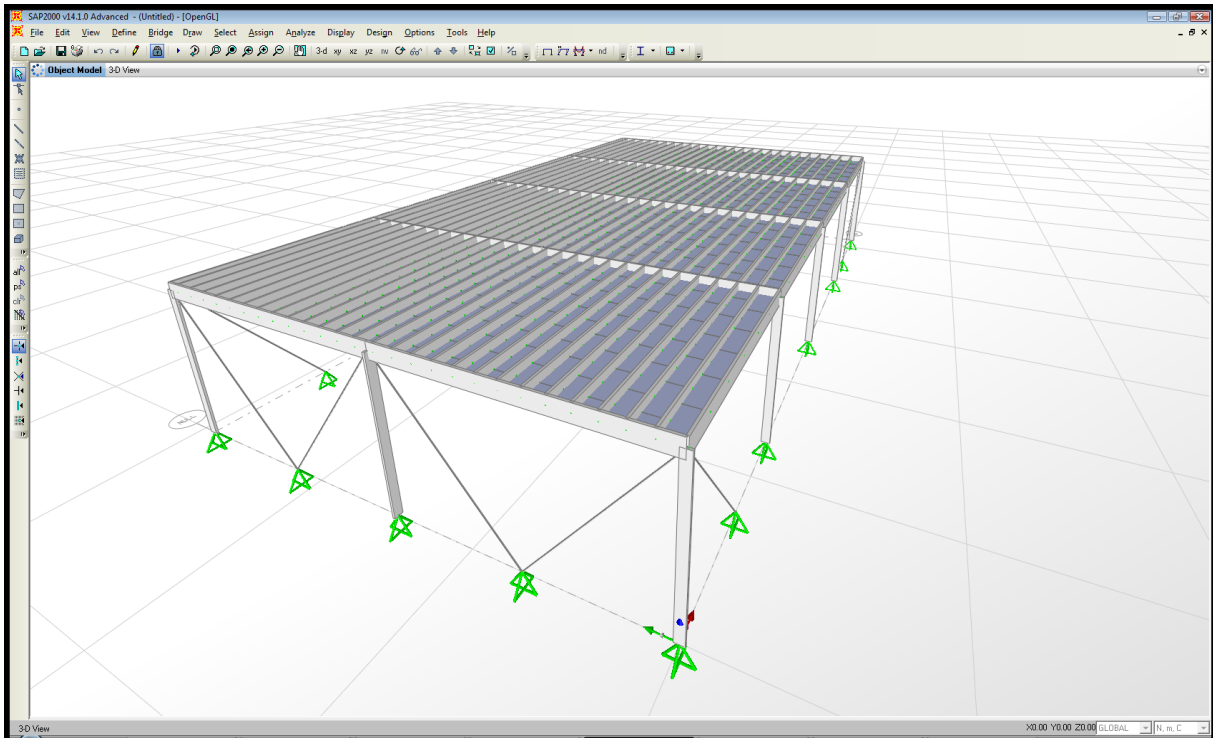


ORIGINALFORMAT: A4S

Figur 18: Produksjonstegning fra Tekla.

Analyse

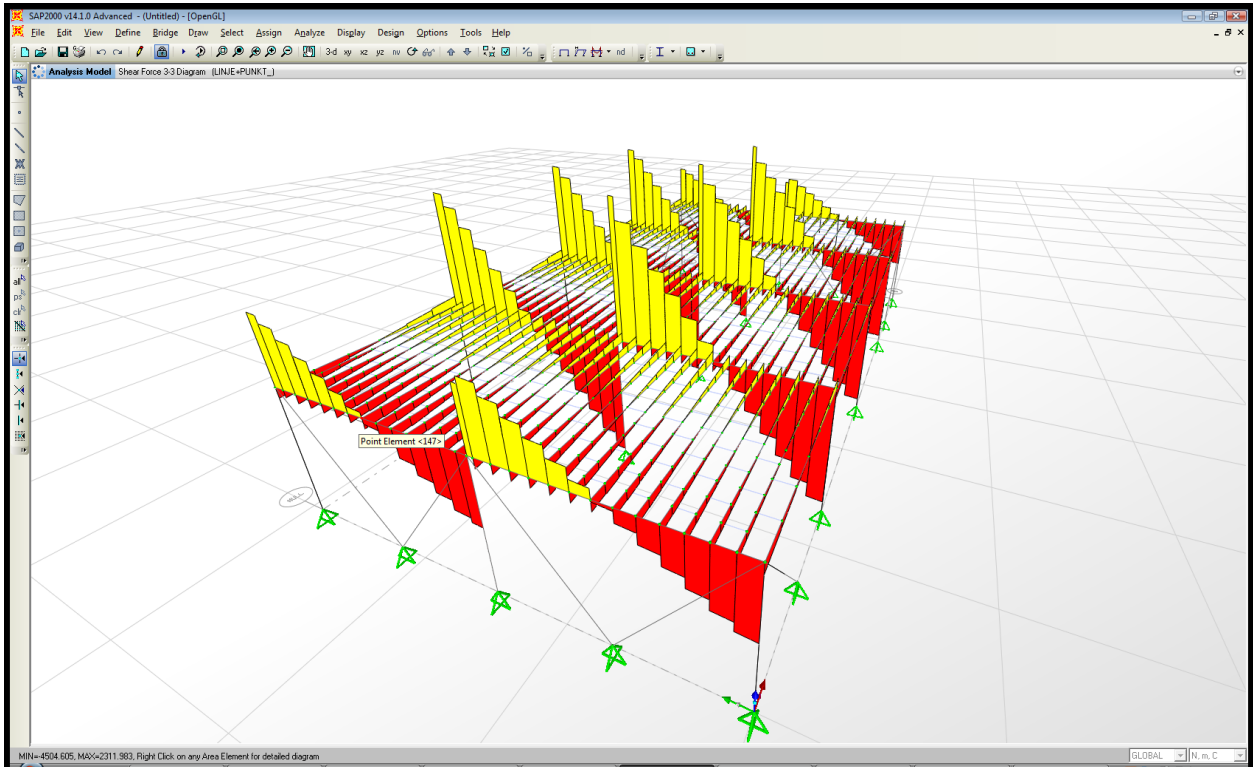
Når analysemodellen er ferdig modellert og utbedret til sin analyse blir modellen overført til SAP2000. Ekstrudert i SAP2000 ser da modellen slik ut, se figur 20 nedenfor.



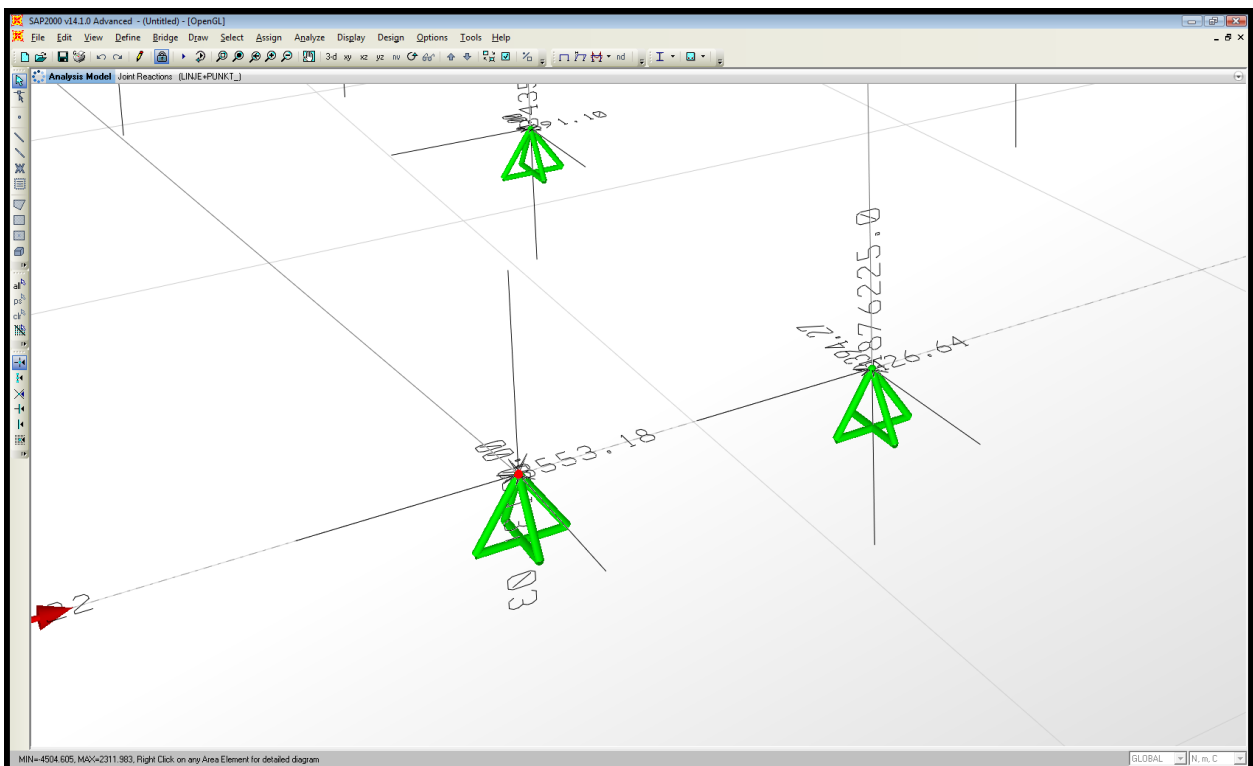
Figur 20: SAP2000-modell. Rendret modell.

Det oppstår et problem når man skal overføre modellen fra Tekla til SAP2000. De trematerialene som ligger predefinerte i Tekla har ikke noen kobling til respektive trematerialer i SAP2000. Dette gjør at man ikke får overført noen modell til SAP2000 med treelementer. Dette kan løses ved å lage materialer, med treegenskaper, som legges under materialmappen for stål fordi disse har en kobling programmene imellom. For eksempelbygget fikk testmaterialet C24 kvalitet, slik at alle benyttende materialer i modellen har samme kvalitet. Dette er ikke realistisk, men det ville blitt for tidkrevende å programere alle de forskjellige materialene, så her ble det foretatt en forenkling. Dette er også grunnen til at bygget ikke er fullt ut dimensjonert. Dette er noe programvareleverandøren må få ordnet så raskt som mulig.

En kan hente ut mengder med forskjellige resultater og en kan lage rapporter som inneholder den informasjon en selv ønsker. Man kan også få ut resultater på modell. Nedenfor er det enkelte eksempler på typer av informasjon, figur 21-24.

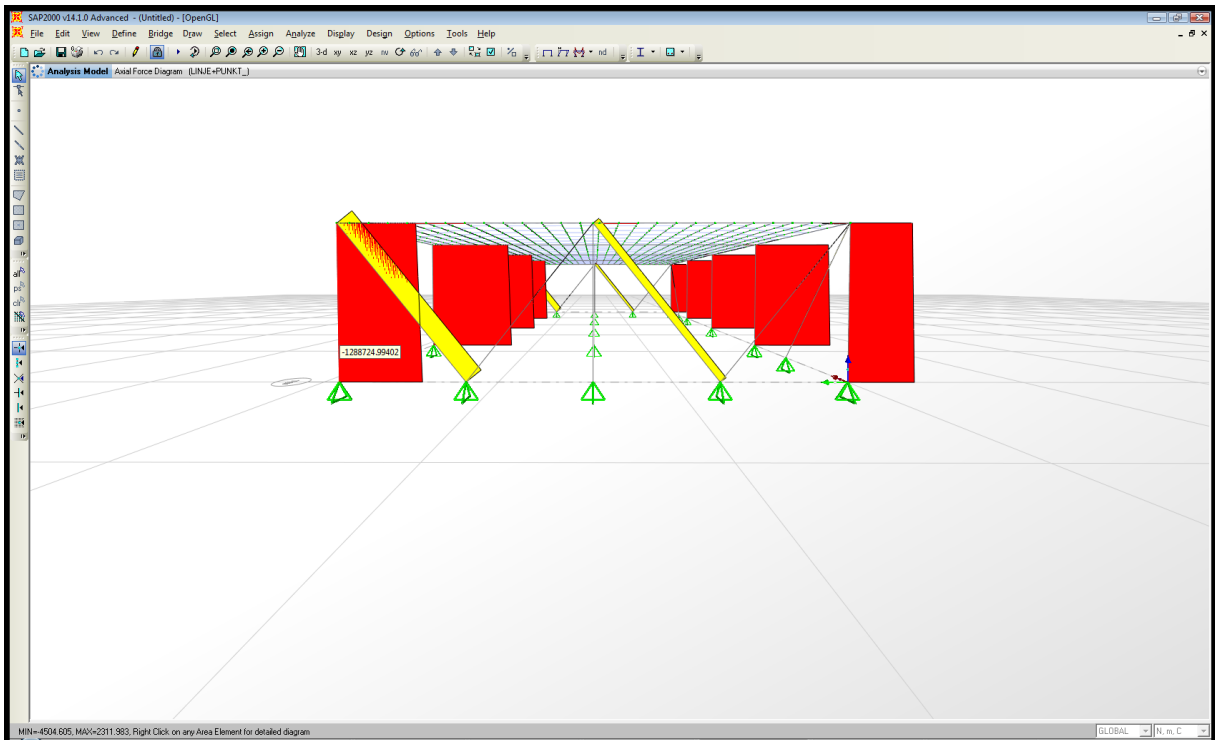


Figur 21: SAP2000-modell. Skjærkraft i bjelker, V33.



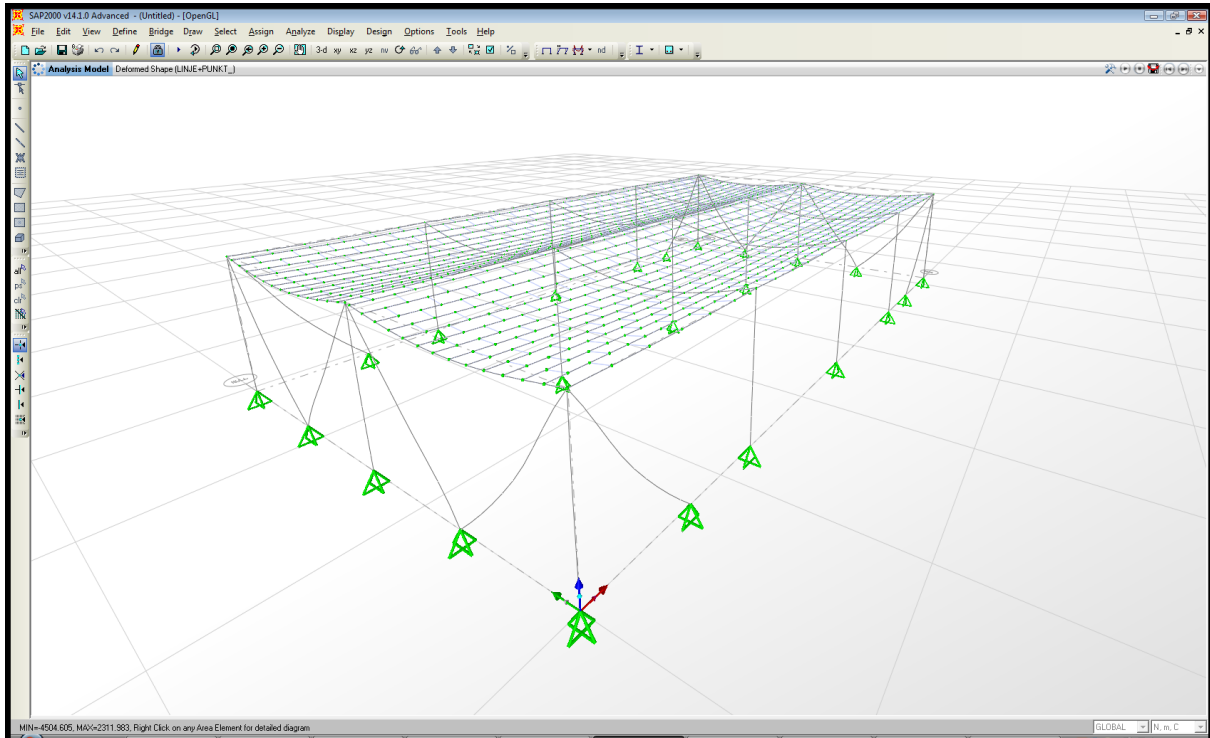
Figur 22: SAP2000-modell. Opplagsreaksjoner.

I figur 21 vises skjærkreftene som opptrer i bjelkene etter påførte vertikale laster. I figur 22 vises oppslagsreaksjonene med piler som viser retning og størrelse.



Figur 23: SAP2000-modell. Aksialkrefter i søyler og vindstag.

I analysen for denne konstruksjonen er det gjennomført en ikke-lineær analyse for å kunne sette vindstagene til ikke å ta trykk. På figur 23 ovenfor ser vi at det går strekkpåkjenninger gjennom stagene på høyre side av søylene, mens stagene på venstre side ikke har noen påkjenninger. Dette ville de hatt hvis det ikke hadde blitt gjennomført ikke-lineær analyse. Dette gir da en så virkelighetsnær analyse som mulig.



Figur 24: SAP2000-modell. Deformasjon.

I figur 24 ser vi deformasjonen av konstruksjonen. Det er viktig og være klar over skaleringsmulighetene av resultatene. Skalering kan skape et meget feil bilde, og ved lav skalering kan for eksempel ukoblede noder ikke synes og dette kan skape feil oppfatning av konstruksjonens bæreevne. Det rådes til alltid å gå over rapporten med resultater over maks- og minverdier da dette vil avsløre alle svake sider ved konstruksjonen.

Skivekonstruksjonen

Siden EC5 for forenklet analyse av skivekonstruksjoner sier følgende i avsnitt:9.2.3.2.1:

” For skiver med jevnt fordelt last skal forenklet metode benyttes såfremt :

- Spennet l ligger mellom $2b$ og $6b$, hvor b er bredden av skiven.
- Det kritiske materiale er forbindele og ikke platematerialet”
- Platene er festet etter forbindelsesregler i avsnitt 10.8.1.”

Og videre sier EC5 i avsnitt 9.2.3.2.2:

” Hvis ikke mer detaljert analyse blir gjennomført skal kantbjelkene bli dimensjonert for å ta opp maks bøyningmoment for skiven.”

Og avsnitt 9.2.3.2.3 sier følgende:

” Skjærkraften blir antatt å være jevnt fordelt over hele bredden av skiven.”

Ut fra dette skal altså randbjelker ta momentpåkjenninger og platen ta skjærkrefter (Eurocode5 2004).

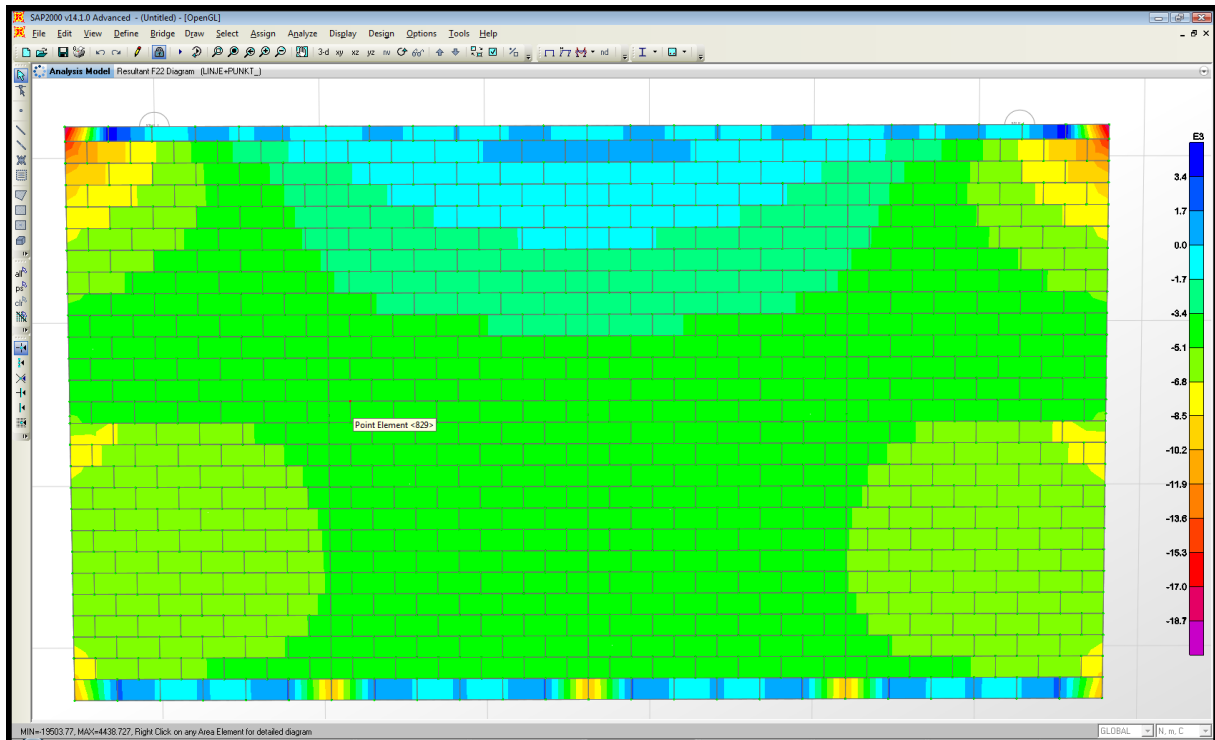
Eksempelbygget har en lengde $l = 57,6$ meter og en bredde $b = 32$ meter.

$$\begin{array}{ccccccc} 2b & < & l & < & 6b \\ 64 & < & 57,6 & < & 192 \end{array}$$

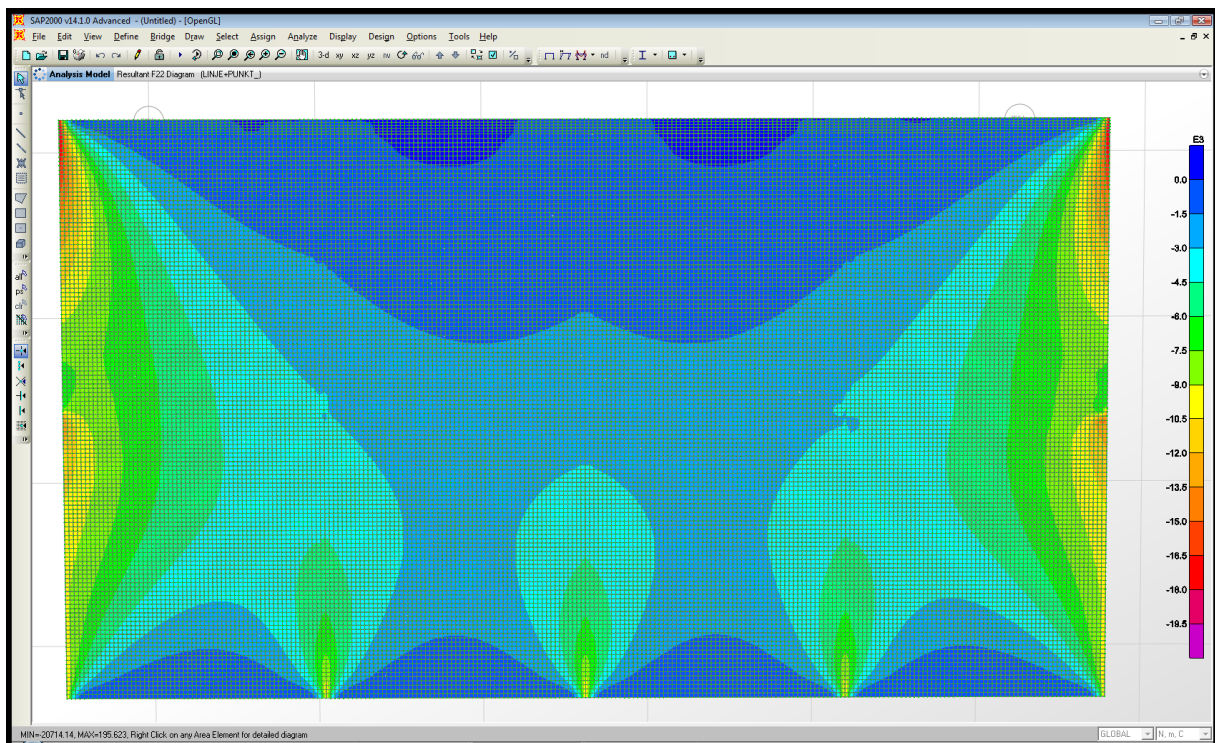
Dette viser at skiven i eksempelbygget ikke kommer innenfor den forenklede metoden. Det er et 10 % avvik fra den nedre grensen. Ser man på figur 28 er det tydelig at skjærkraften ikke er jevnt fordelt. Grunnen til dette er at skjærkreftene føres ned i punkter og slik ikke får en oppførsel som en jevnt fordelt last. Siden avviket kun er på 10 % vil det være en god antagelse og si at skjærkraften i skiven også vil vær ujevn ved en økning av lengden på 10 %. Dette indikerer at forenklet metode gir ”feil” resultat og kan skape unødvendige dimensjoner og forbindelser.

I eksempelbygget er det modellert slik at platene ikke skal ta opp noe bøyingspåkjenning fra vertikallastene. I analysemodellen fra Tekla og i SAP2000-modellen er dette løst ved å plassere platene i nøytralaksen til rand- og takbjelker hvor bøypåkjenningene er lik null. Skiven skal da fordele de horisontale lastene gjennom platen og ut til gavelveggene, hvor strekkstagene skal føre lastene ned til grunnen.

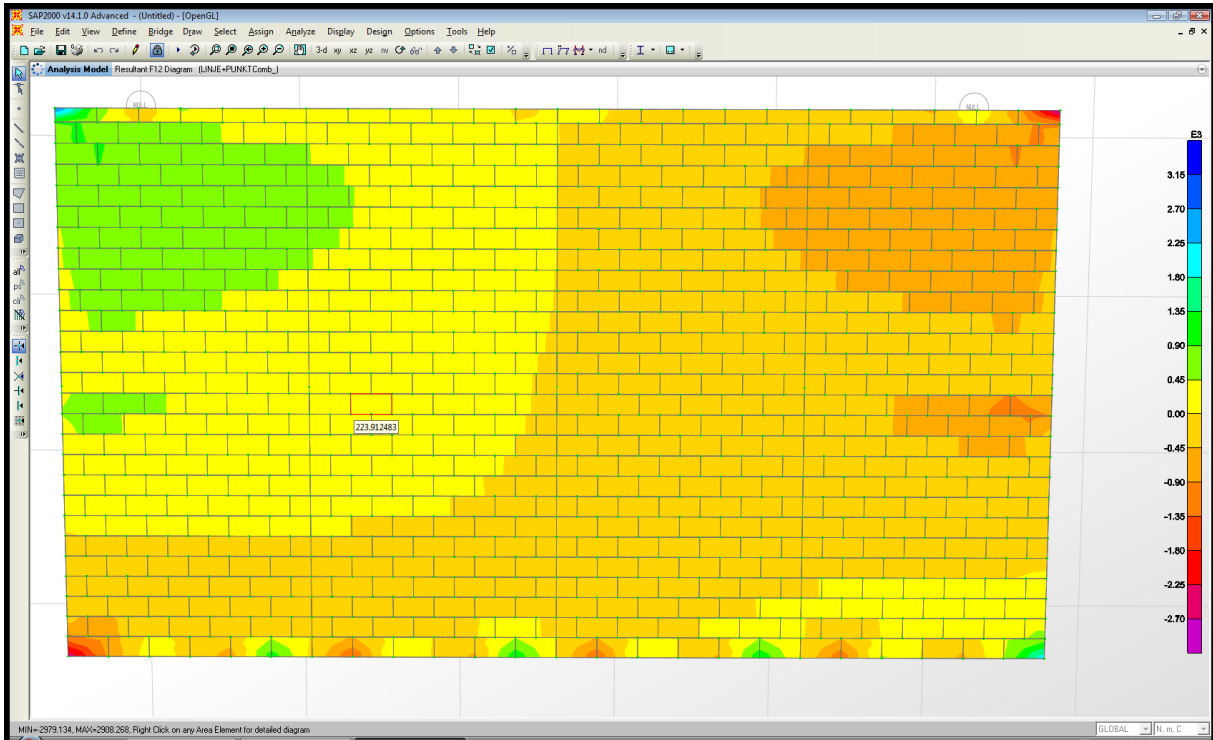
Taket er bygget opp av plater på 1.2*2.4 meter. Figur 25 og 26 viser to bilder av samme takplate. En med 1.2*2.4 meters plater (mesh 1*1) og en hvor en plate på 1.2*2.4 meter er delt opp i 10*5 deler (mesh10*5). Det er nokså tydelig av plottene at kreftene gjennom platen går ut mot gavelveggene og ned i strekkstagene. Jo mindre mesh jo mer nøyaktig resultater vil man få. Analysen er mer tidkrevende med mindre mesh slik at det vil være en avveining for hvor nøyaktig en vil ha resultatene og tidsbruken en har til rådighet.



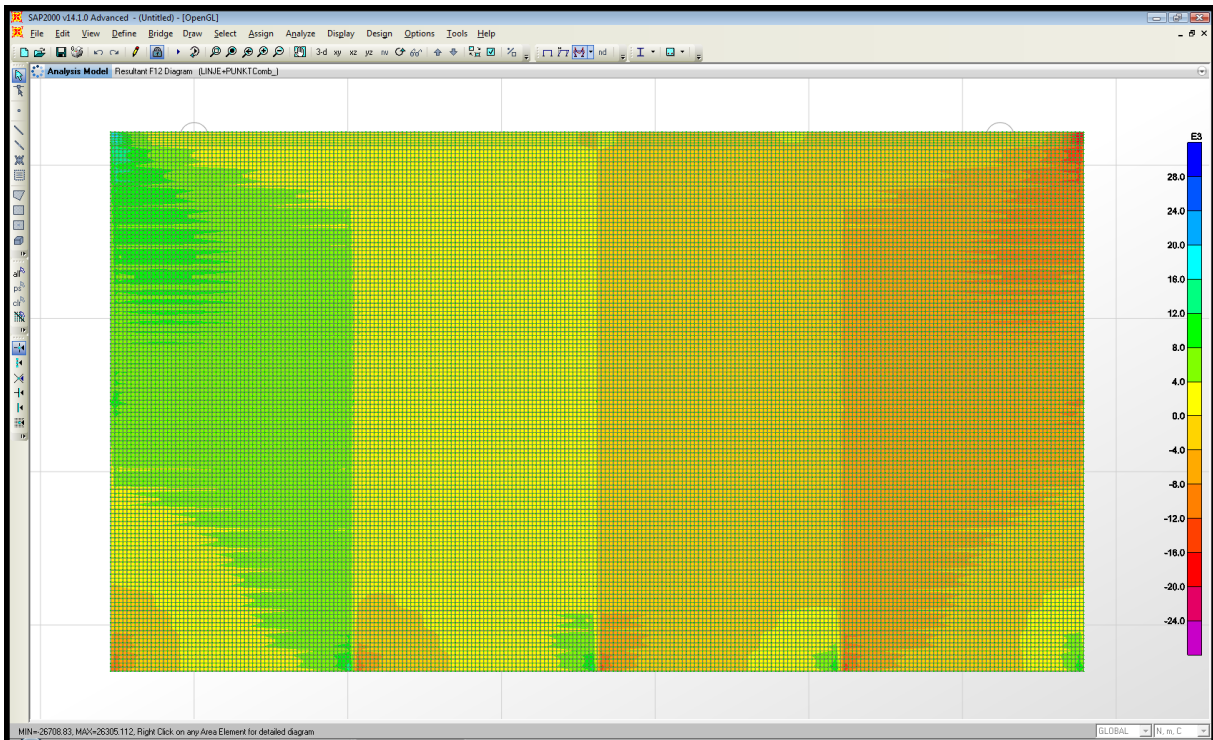
Figur 25: SAP2000-modell. Aksialkrefter i plate, mesh 1*1.



Figur 26: SAP2000-modell. Aksialkrefter i plate, mesh 10*5.



Figur 27: SAP2000-modell. Skjærkrefter rundt elementer, mesh 1*1.



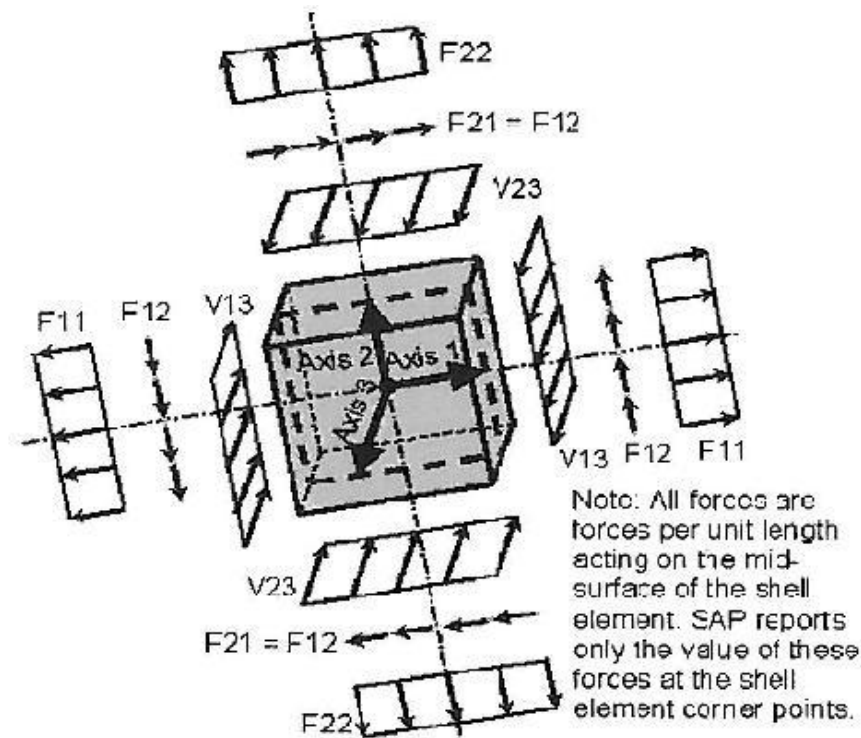
Figur 28: SAP2000-modell. Skjærkrefter rundt elementer, mesh 10*5.

På figur 27 og 28 kan vi se hvordan skjærkreftene opptrer i skiven. Nøyaktigheten påvirkes også her av finheten av meshet. Dette viser at forutsetninger om antatt jevnt fordelt skjærkraft

over hele platen ikke stemmer med virkeligheten. Her kan vi tydelig se at skjærkreftene er størst ut mot kantene, og vi kan tydelig se økningen ut mot områdene hvor strekkstagene er plassert. Grønn farge indikerer størst positiv skjærkraft, mens mørkere rød indikerer størst negativ skjærkraft. Med muligheter for slike analyser skapes et utviklingspotensial for optimaliseringer av trekonstruksjoner og bedrer innsikten i eksempelvis skivekonstruksjoner.

Et annet aspekt ved dimensjonering av plater er å dimensjonere antall forbindere langs kantene på hver enkelt plate. Fra Norsk Standard er det antatt lineære arbeidslinjer til forbinderne, mens det i EC5 kan tolkes at det anmodes til ikke-lineære forbindere, noe som også er et mer korrekt bilde av det som virkelig skjer. De lineære arbeidslinjene har forårsaket overdimensjonering og unødvendig materialbruk av skivekonstruksjoner, men ved nyere programvare som SAP2000 kan en legge inn ikke-lineære koblinger mellom noder. Disse ikke-lineære koblingene kan være fjærkoblinger som gis en ekvivalent stivhet lik forbinderne langs kanten av platen. I den sammenheng kan man lese ut antall forbindere som er nødvendig. Som nevnt tidligere gir også EC5 anmodning til 2.ordens analyser, så slike analyser vil bli benyttet mer i fremtiden.

Når man skal hente ut resultater er det viktig at en har kontroll på retninger og hvilke resultater man egentlig får ut. Det er viktig å ta for seg hvordan aksene er definert i benyttet analyseprogram. På figur 29 nedenfor ser vi akse- og reaksjonsretninger for et plateelement i SAP2000. Akse 1, 2 og 3 indikerer her akse x, y og z i modellen. Vi kan da se at F22 er aksialkrefter gjennom platen i y-retning. F12=F21 er skjærkreftene som opptrer rundt kanten av elementene. Dette er resultater som kan brukes til dimensjonering av eksempelvis skiver i større trebygninger.



Figur 29: Akse og reaksjonsretninger i SAP2000 for shell/solid-elementer (CSI 2010c).

4.2 Autodesk Revit og Robot

Produsent

Revit og Robot er amerikansk programvare utviklet av Autodesk. Firmaet ble etablert i 1982 og har siden den tid vært en ledende aktør innen CAD-programvare. De har et verdensomspennende nettverk, og har over 7000 ansatte over hele verden og 9 000 000 brukere i over 160 forskjellige land (Autodesk 2010a).

Leverandør av overnevnte programmer

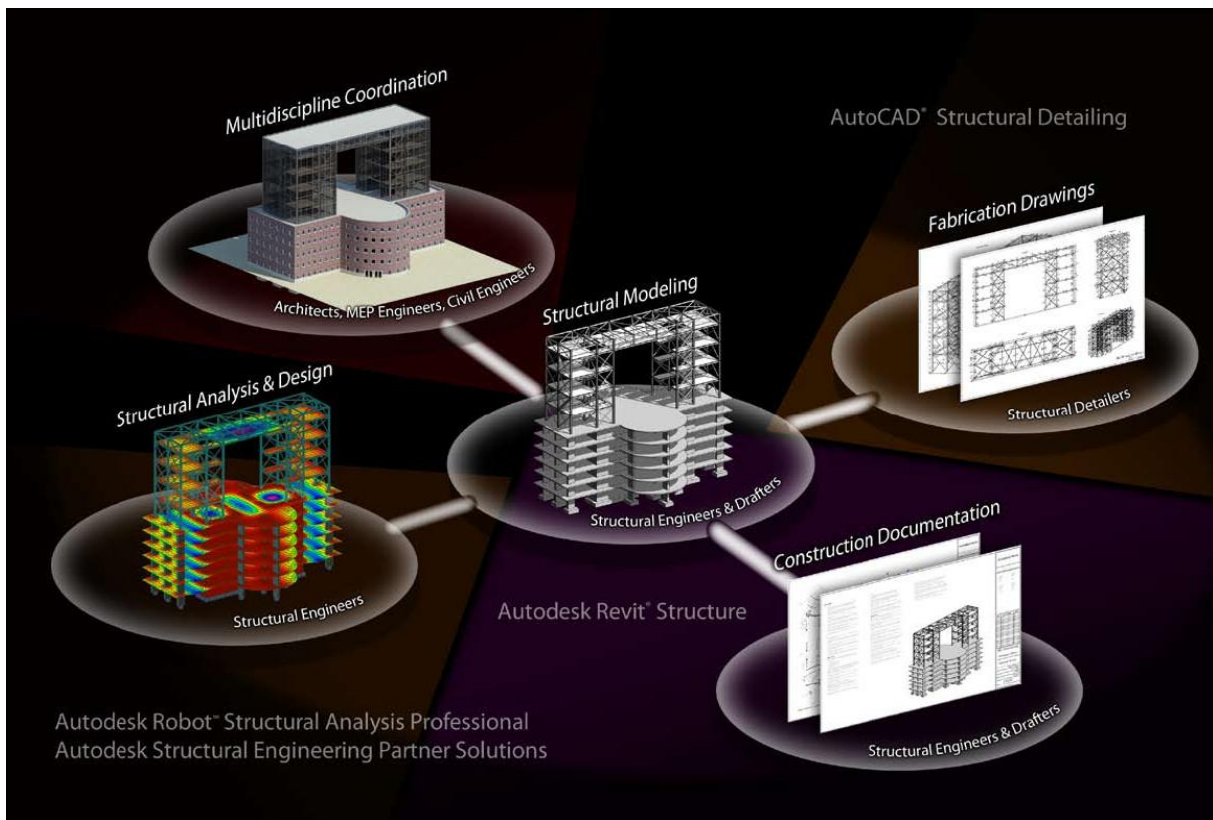
Cad-Q er en av leverandørene av Autodesk-produkter i Norge i dag. De holder til i Oslo og ble etablert i 1989. De har ca 140 medarbeidere fordelt på 18 kontorer i Norge og Sverige.

Det finnes mange brukere av Robot Structural Analysis Professional i Norge, men et firma som driver med avanserte analyser er Teknisk Data AS. De innehar mye kunnskap om programmet og er også leverandør av Robot i Norge (Cad-Q 2010; Munch 2010).

4.2.1 Revit Structure 2010

Revit Structure er et fullstendig grafisk, objektbasert og parametrisk program. Her bygger man opp en modell av objekter man kan velge fra et bibliotek, eller en kan skape egne objekter med unik geometri og materialegenskaper. Det kan produseres alt av tegninger, detaljer og mengdelister direkte ut av programmet. Programmet er utviklet for å kunne være en BIM-base, med direkte kobling mellom annen programvare innen en og samme prosess. Dette gjør at programmet er godt egnet for å skape en fullverdig FDV-dokumentasjon.

Autodesk produserer flere programmer, og dekker hele spekteret av et byggeprosjekt med sine produkter. De har Revit Architecture for arkitekter, Revit MEP for mekanisk, elektro og VVS(plumbing) og applikasjoner for landskapsarkitektur med mer.



Figur 30: BIM i Revit Structure (Autodesk 2010b).

Over ser vi en oversikt over oppbygningen av BIM-modellen. Her er alle fagområder knyttet opp mot en modell, og Revit Structure er en god base å benytte seg av. Det er toveiskommunikasjon mellom de forskjellige programmene, som for eksempel mellom Revit

Structure og Robot Structural Analysis Professional. Hvis det her blir gjort en endring i Robot vil denne endringen også kunne bli oppdatert i Revit-modellen. Dette kan forbedre modellen og gi et mye bedre grunnlag for å unngå feil i modellen, men det er også noe negativt ved dette. Når man skal benytte Revit-modellen for å lage en analysemodell kan dette føre til problemer. Det er en kodesjekk innebygget i Robot som kan optimalisere strukturen ut fra sjekker foretatt opp mot en valgt standard. I Revit-modellen kan det være detaljer som er fullstendig unødvendige for å gjennomføre en analyse. Dette forsinker analysen og kan skape problemer. Et eksempel kan være at det ikke er nødvendig å ha med dører, vinduer, osv. Et ønske ville være å kunne lage en uavhengig analysemodell som det kan gjøres forenklinger på uten at basismodellen blir endret/oppdatert. Slik situasjonen er nå kan en endre, eventuelt fjerne, de modellerte detaljer som ikke har innvirkning på analysen i Robot, får så å gjennomføre en kodesjekk. Når en da oppdaterer basismodellen for å få lagret eventuelle endringer av dimensjoner fra en kodesjekk vil også endringene hvor en har slettet diverse objekter eller uvesentlige detaljer for analyse også bli lagret i basismodellen. Slik kan basismodellen miste viktig informasjon for andre aktører. Enkleste måte på nåværende tidspunkt er å gå tilbake til basismodellen og gjøre de endringer, som man kom frem til ved analysen og kodesjekken, manuelt i Revit. En kan fortsatt benytte seg av Revit-modellen som analysemodell, men en har ikke denne toveiskommunikasjonen fullt ut enda. Autodesk er klar over problemet og det arbeides for å få dette til (Munch 2010).

Revit Structure har automatisk oppdatering av alle tegninger og lister/rapporter som blir produsert av modellen. Dette gir gevinster helt frem til produksjon når tegninger til en hver tid er korrekte. Det er også en åpen kobling mellom MEP(Mechanical-electrical-plumbing) som gir mulighet for kollisjonstester mellom hvert enkelt fagområde. Man kan også benytte seg av arkitektens tegninger som grunnlag for oppbygning av strukturen hvis ønskelig. En kan velge om elementer i Revit skal ha konstruksjonsegenskaper eller arkitektegenskaper. Dette vil bestemme om elementet skal bli overført til analyseprogrammer eller ikke. Det kan også gjennomføres kollisjonstest mellom konstruksjons- og arkitektelementer.

Revit kommuniserer via flere forskjellige formater, som IFC, dxf, dwg, dgn, m.fl.

For trekonstruksjoner er Revit Structure kommet et godt stykke på vei. Programmet har allerede et treobjektbibliotek med predefinerte limtrebjelker og ordinære trebjelker, og man kan definere egne objekter med egne dimensjoner og materialegenskaper. Med dette kan en

bygge egne konstruksjoner med stor frihet. Det beste er allikevel koblingen til Robot Structure Analysis Professional med sine finesser for trekonstruksjoner, men dette vil bli utdypet i neste kapittel (Autodesk 2010b).

4.2.2 Robot Structural Analysis Professional 2010

Robot Structural Analysis Professional bygger på elementmetoden (FEM). Programmet er et parametrisk objektbasert program som kan gjennomføre beregninger på de mest avanserte konstruksjoner. Robot Structural Analysis Professional har implementert inn over 70 forskjellige standarder fra forskjellige land. Norsk standard for både stål, tre og betong ligger inne, men disse vil være overflødige nå som Eurocode skal bli den gjeldende standarden i Norge. Imidlertid ligger også Eurocode, både 2, 3, 5 og 8 i programmet allerede. Det kan så velges ut hvilken standard det skal beregnes etter, og man kan velge hvordan man vil ha resultatene ut, f. eks. som tabell over krefter, momenter eller som utnyttelsesgrad i forhold til valgt standard.

Modellering

Modellering i Robot gjøres i en 3D-interface. Her angis det et grid-system og det plasseres ut ønskede elementer i ønskede posisjoner. Det finnes en rekke forskjellige elementer i Robot:

- 2D/3D frame and truss (2-node bar finite elements)
- Grillage (2-node bar finite elements)
- Plate and shell (2D planar finite elements)
- Plane stress structure (2D planar finite elements)
- Plane deformation structure (2D planar finite elements)
- Axisymmetric structure (2D planar finite elements)
- Volumetric structure (solid-3D volumetric finite elements)

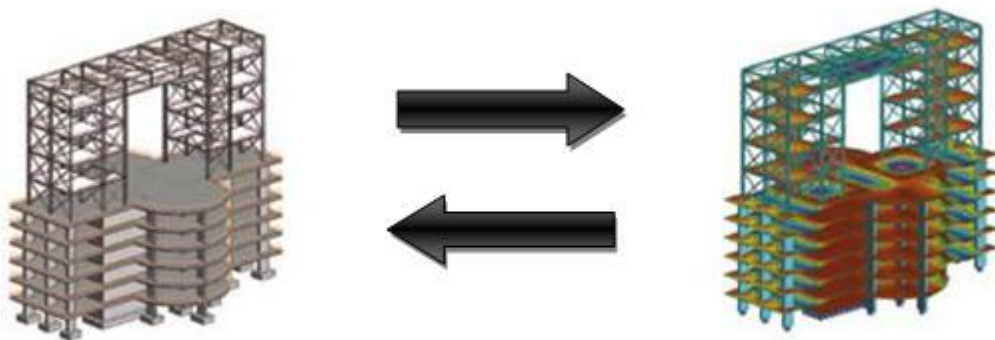
(Autodesk 2009)

Elementene i Robot kan gjøres ortotrope ved å velge denne egenskapen i en material-dialogboks. Dette gir gode modelleringsmuligheter for trekonstruksjoner.

Forbindelser eller koblinger mellom bjelkeelementer kan løses på flere forskjellige måter etter hva man har bruk for i Robot. Man kan velge mellom ordinær fast innspent, leddet eller fast kun i ønsket retning. Dette er typisk for noder i opplager. I tillegg til de ordinære innfestningene kan man også lage fullstendig stive forbindelser, elastiske, med demping, ensidige forbindelser, ikke-lineære koblinger og kontaktpåvirkning mellom elementer. Dette gir store muligheter for å modellere så nær virkeligheten som mulig. De samme egenskapene som nevnt ovenfor kan også gis til skall og solidelementer.

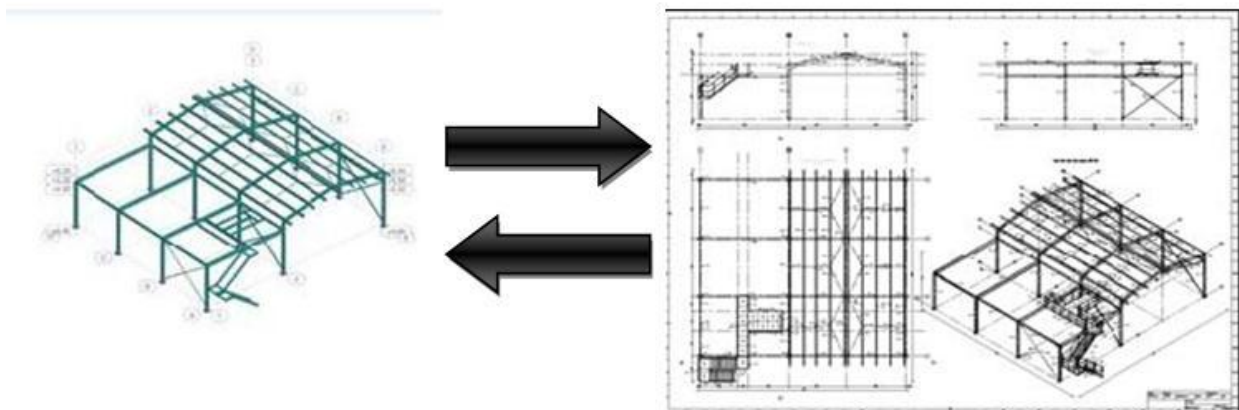
Programmet har en automesh funksjon som deler hvilken som helst form eller geometri om til mindre elementer, som er grunnlaget for en god FEM-modell, ved beregning av plater. Det er også mange justeringsmuligheter med automesh-generatoren. Det kan gjøres manuelle manipuleringer som å forfine elementinndelingen for et enda mer nøyaktig resultat og spesialmesh rundt alle typer åpninger osv i konstruksjonen. Dette gir en god mulighet for å løse de mest komplekse konstruksjoner.

Det er et fullverdig BIM program som skaper en informasjonsflyt mellom BIM-modellen og strukturanalysemodellen. Robot kan kobles opp mot flere forskjellige modelleringsprogrammer som Revit og Tekla. Koblingen mot Revit Structure er en direkte link basert på et eget filformat som skaper en god flyt mellom programmene, men som nevnt tidligere skal man være forsiktig med dette slik at en ikke foretar oppgraderinger som man ikke ønsker (Autodesk 2010d).



Figur 31: Toveiskommunikasjon mellom Revit og Robot(Autodesk 2010d).

Denne kommunikasjonen fungerer også for tegnings- og rapportproduksjon.



Figur 32: Toveiskommunikasjon mellom Revit og Robot(Autodesk 2010d).

Robot kan også kobles opp mot Tekla og andre modelleringsprogrammer, men da må dette gjøres via andre standardformat som IFC, dxf, dwg, osv eller Teklas Open API.

Analyse

Robot Structural Analysis Professional kan beregne både lineære og ikke-lineære beregninger, med både små, og store forskyvninger, geometrisk ikke-lineærhet og ikke-lineære materialegenskaper. Det er også konvergens mellom benyttede objekter i analysemodellen med respektive materialegenskaper. Hvis det blir plassert inn et objekt av ikke-lineær kvalitet vil modellen automatisk gå over til en ikke-lineær analyse.

Man kan gjennomføre mange forskjellige analyser for å dimensjonere konstruksjoner, som f. eks:

- P-delta analyse
- Trykk og strekk komponenter
- Kabler
- Plastiske hengsler
- Knekning
- Fallsimulering
- Stive forbindelser (rigid)
- Osv.

Programmet tar seg også av dynamiske analyser som:

- Modalanalyse, egenfrekvensanalyse
- Dempning (svingningsdempning)
- Egenutviklet Fottfall-analyse som er en analyse for svingninger i gulv, type bjelkelag av f. eks. tre over flere eller enkle spenn.
- Osv.

For massematrisen finnes det muligheter for forenkling av denne for å bespare beregningstid.

Programmet har tre forskjellige massematriser det kan velges mellom.

- Lumped without rotations: konsentrert, altså diagonal
- Lumped with rotations; konsentrert, altså diagonal, men med rotasjon
- Consistent, full matrise

De to øverste metodene forkorter regnehastigheten, og i mange tilfeller er det tilstrekkelig presisjon til at resultatene gir en god approksimasjon. Det er forutsatt at ved rigide konstruksjoner skal det gjennomføres en full analyse med full massematrise (Autodesk 2009).

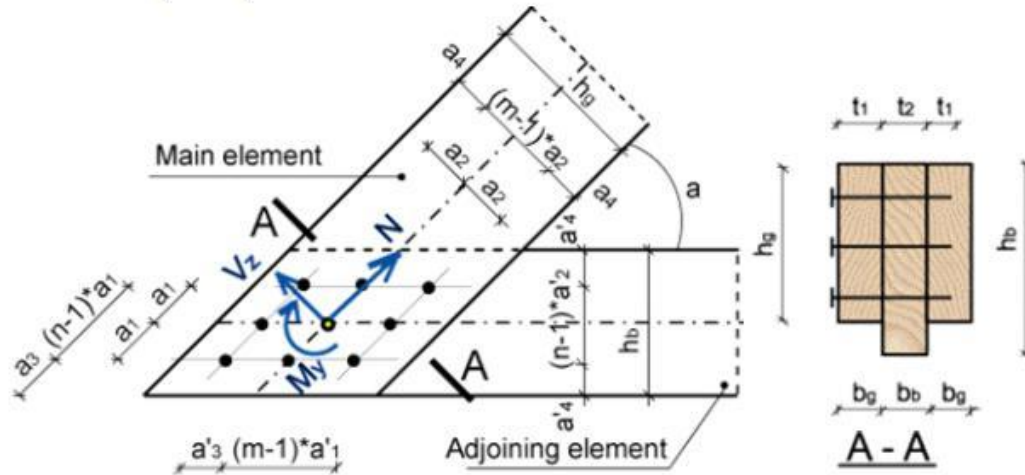
Forbindelser blir delvis håndtert i programmet. Det finnes predefinerte forbindelser som man kan velge å benytte seg av, hvor alle er tatt ut fra valgt standard. Har man valgt Eurocode 5 og har en søyle og bjelke av tre, vil en ved å markere disse to, så velge forbindleser, få opp en dialogboks med valgmuligheter innen type forbindersystemer ut fra Eurocode 5. Det vil også da bli laget detaljtegninger av valgt forbinder med nødvendig dokumentasjon. Problemer oppstår når forbindleser ikke har standard utforming. Da må beregninger gjennomføres utenom programmet og BIMen vil ikke bli fullstendig.

På neste side er et eksempel på en predefinert forbindelse mellom to treobjekter. For fulltekst, se vedlegg 3.

Screwed splice connection – inclined, timber-to-timber type

Code: Eurocode 5 - Design of timber structures. prEN 1995-1-1: 2003

The program is used for design and verification of the inclined, screwed splice connection of two timber elements according to the guidelines of the code: EUROCODE 5.



Figur 33: Treforbindelse i Robot (Autodesk 2010c).

I denne forbindelse kommer følgende data inn til beregningen fra Robot og følgende løsning blir levert til rapporten:

Inndata:

Internal forces:

- Full set of internal forces [N,My,Mz,Qy,Qz].

Main element:

- Parameters of section and material, e.g. from databases.

Adjoining element:

- Parameters of section and material, e.g. from databases.

Screws:

- Screw parameters.

Connection parameters:

- Angle of inclination of the main element.
- Arrangement of screws in a connection.
- Number and spacings of columns and rows of screws.

Results:

Connection geometry check – main element and adjoining element:

- Fastener spacing along the grain.
- Fastener spacing perpendicular to grain.
- Distance between the outermost fasteners and the element end.
- Distance between the outermost fasteners and the element edge.

Lateral load-carrying capacity of screws:

- Load-carrying capacity per single fastener.

Verification of the connection load-carrying capacity:

- Verification of load-carrying capacity of the screw with the highest ratio.

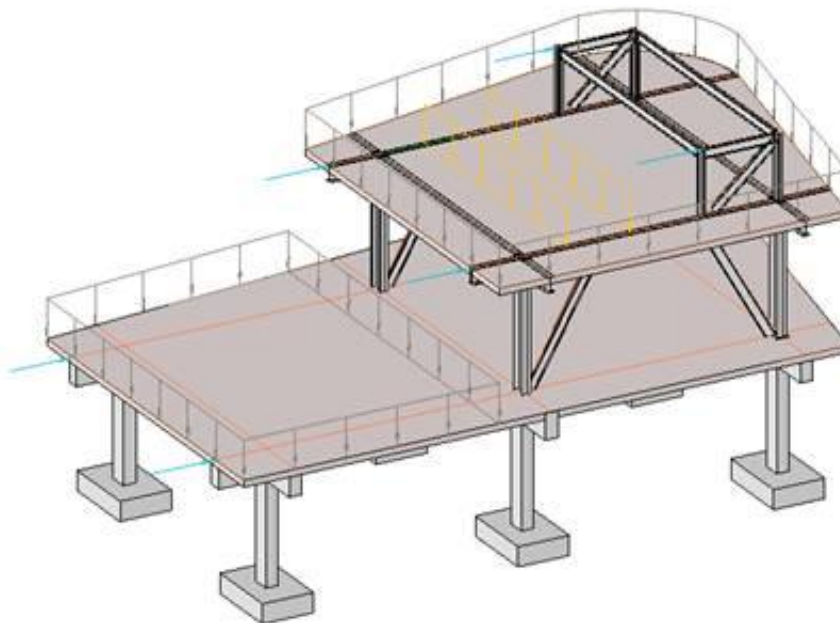
Verification of load-carrying capacity of the weaker element – weakened by screw holes.

(Autodesk 2010c)

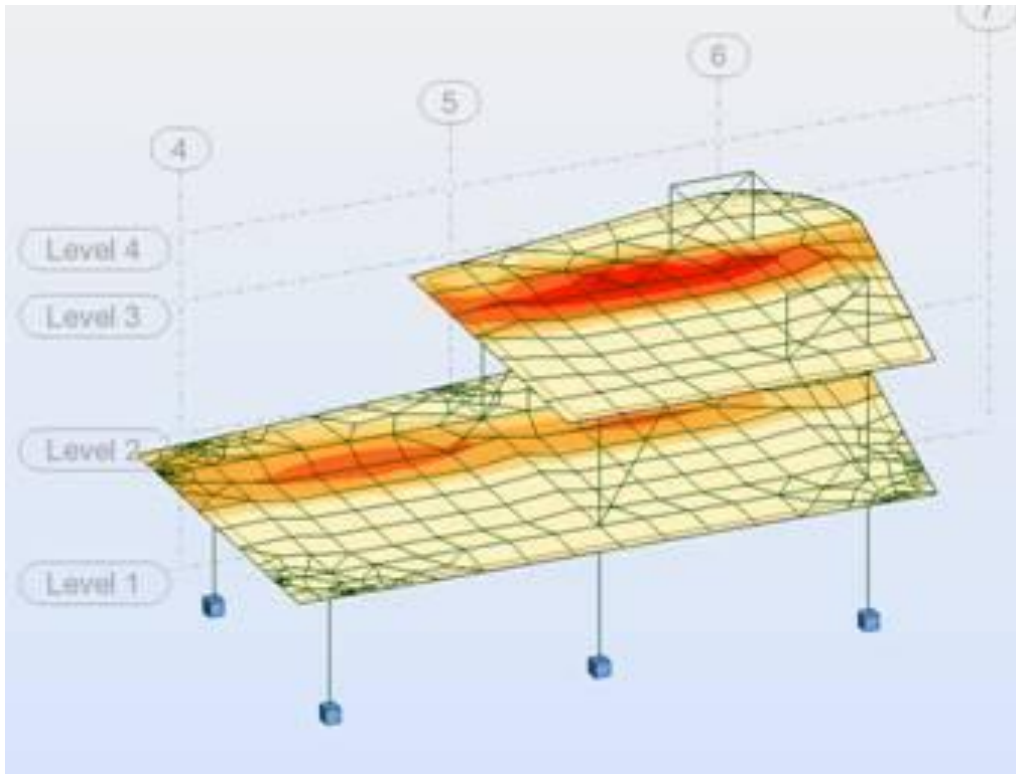
CNC-styringsfiler

Robot leverer ikke ut CNC-filer, men det er fullt mulig å få ut CNC-filer fra Revit. Slik at det ikke er umulig å få ut styringsfiler til forskjellige automatiserte arbeidslinjer osv., ved bruk av Autodesk programvare.

4.2.3 Eksempelbygg



Figur 34: Eksempelbygg fra Revit Structure (Mørch 2010).



Figur 35: Eksempelbygg fra Robot Professional Analysis (Mørch 2010).

På forrige side er en og samme modell i både Revit, figur 34, og i Robot, figur 35. Robot figuren kan også renderes, men her er analyseelementmodellen representert.

4.3 DDS, Data Design Systems

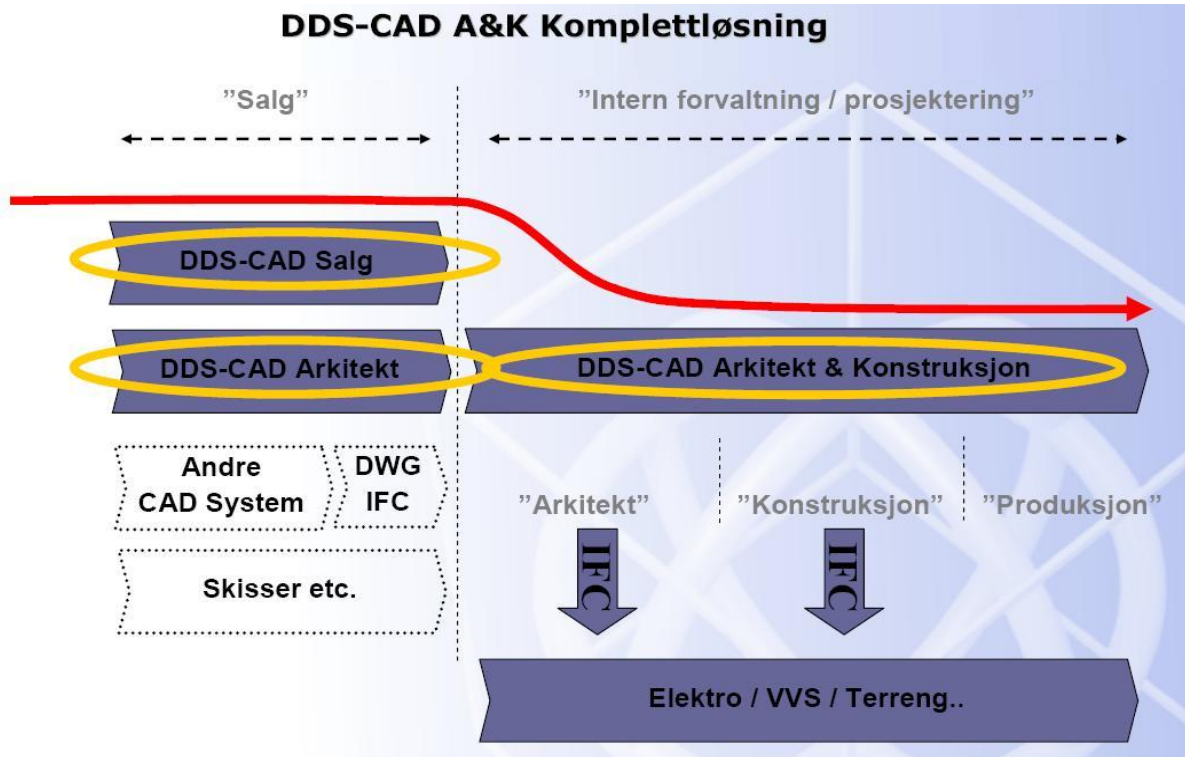
Produsent/Leverandør

DDS, Data Design System ASA ble etablert av Block Watne i 1984. De var hovedeiere frem til 1997 da ansatte tok over eierskapet sammen med nye investorer. Data Design Systems ASA har hovedkontor i Øksnevad Næringspark sør for Stavanger. De har også datterselskaper i Tyskland og Østerrike. Forretningsideen var å utvikle data-assisterte prosjekteringsverktøy til boligbyggere. De leverte et godt produkt og utvidet med tiden repertoaret med programvare for andre fagområder også. Nå leverer de to hovedprogrammer. DDS-CAD Arkitekt og Konstruksjon og DDS-CAD MEP

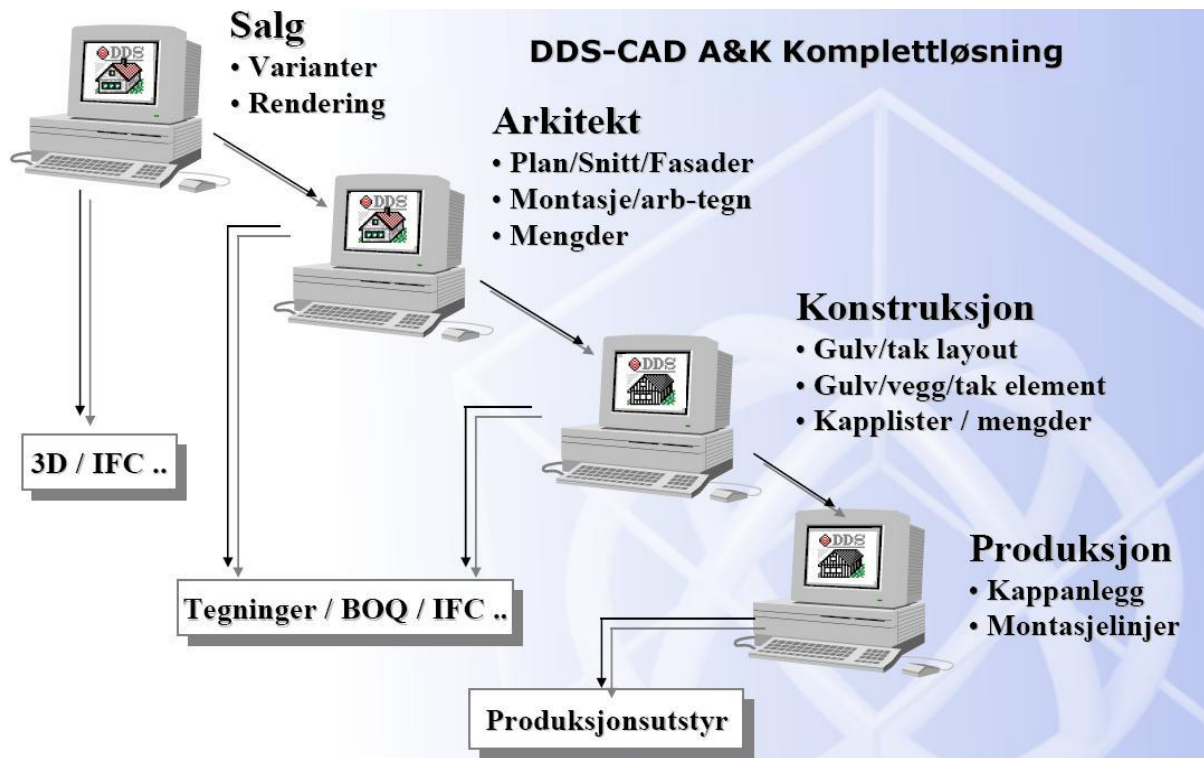
4.3.1 DDS-CAD Arkitekt og konstruksjon og DDS-CAD MEP

Det originale programmet for boligbygg heter nå DDS-CAD Arkitekt og Konstruksjon, og i tillegg er det utviklet DDS-CAD MEP. DDS-CAD MEP tar i hovedsak for seg tekniske installasjoner som elektro, ventilasjon, rør, sanitær og energi. Programmet er basert på en egenutviklet bygningsinformasjonsmodell (BIM) som er basen for hele programmet. Her kan alle fagområder lastes inn og modellen kan fungere som informasjonsbærer for forskjellige fagområder.

I DDS-CAD Arkitekt og Konstruksjon kan man starte med en enkel skisse eller importere plantegningene fra et annet DAK-system. Ut fra dette underlaget kan man begynne å bygge en komplette intelligent 3D-modell av prosjektet. Ut fra modellen kan man hente ut all ønskelig relevant informasjon som man trenger. Dette innebærer renderinger av den ferdige bygningen for salgsbistand, perspektiv-, plan-, fasade- og snittegninger, dør- og vindusskjema og stykk- og kapplister. All målsetting skjer automatisk eller manuelt hvis ønskelig. De aktuelle data ligger klar for styring av maskiner, produksjonslinjer, innkjøp og logistikk.

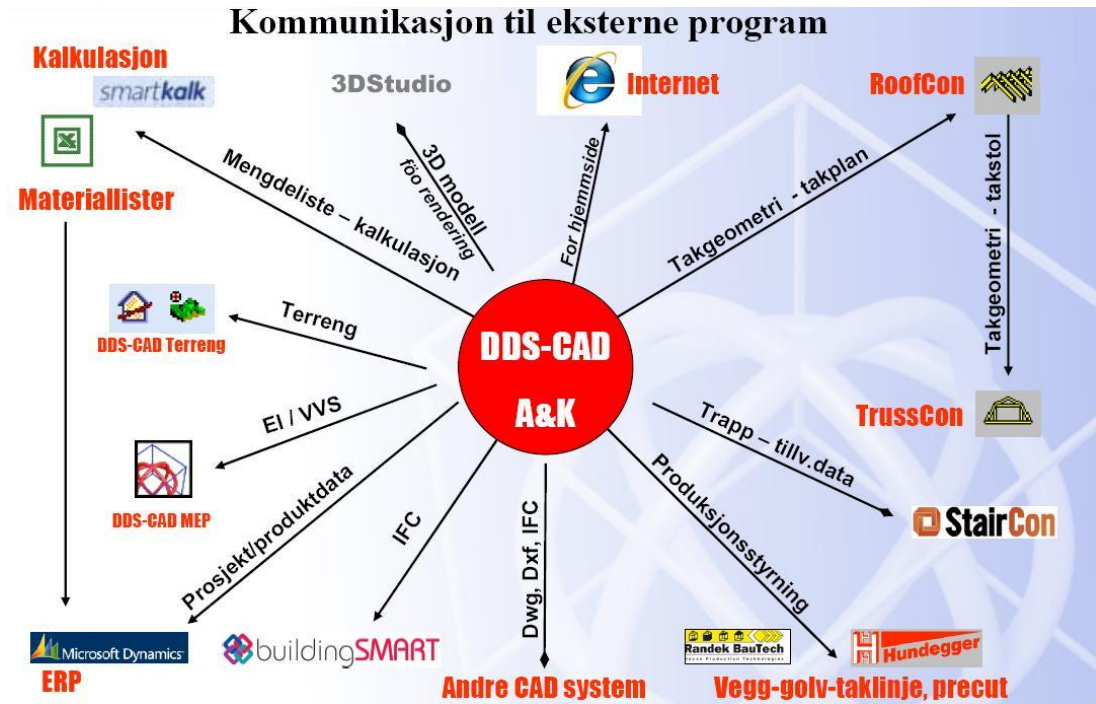


Figur 36: Samvirke i DDS-CAD A&K (Nærheim 2010).



Figur 37: BIM i DDS-CAD A&K (Nærheim 2010).

DDS-CAD Arkitektur og Konstruksjon har et utviklingspotensial når det kommer til dimensjonering og konstruksjonsanalyser. Her har de ikke noe tilbud i dag. De leverer all dimensjonering til rådgivende ingeniører som utfører nødvendige beregninger og leverer tilbake dimensjoner og eventuelle endringer som må gjøres med modellen. Det er en direkte kobling med RoofCon og TrussCon. Her kan man oversende plantegning av et modellert bygg, få bygget opp takkonstruksjonen i Roofcon og dimensjonere nødvendige takstoler, lage takplaner i Trusscon, for så å overlevere resultatet tilbake og få ferdig modellert tak inn i modellen igjen. Slik er det til en hver tid en modell som inneholder all informasjon om bygget og det kan føres kontroll på kostnader osv. Ved endringer kan det da gjennomføres kostnadsanalyser for å finne ut prisforskjeller ved gitte endringer (Nærheim 2010).



Figur 38: Samarbeidslinke for DDS-CAD A&K (Nærheim 2010).

4.3.2 Eksempelbygg



Figur 39: Eksempelbygg fra DDS-CAD A&K (Nærheim 2010).

Figur 39 representerer et eksempel av et prosjektert bygg i DDS. Her er arkitektmodellen rendrert og kan brukes i presentasjons- og salgssammenheng. Neste modell er en representasjon av bærende konstruksjon i bygget, her bestående av stendervegg, bjelkelag og takåser. Nede til venstre er et bilde av det samme bygget, men her er informasjonsmodellen som viser informasjon som ligger i modellen. Her kan man velge en vegg å gå inn i dialogboksen til venstre for og se hvordan veggen er bygget opp og hva for informasjon som er knyttet til den veggen, for eksempel når den skal produseres, ankomme byggeplass, monteres osv.

5 Diskusjon, muligheter og videre arbeid

5.1 Undersøkelse

De kontaktede firma innefor limtreindustrien er enige om at BIM er fremtiden og at det vil være lurt å ha et modelleringsprogram som har god link med et analyseprogram og ha mulighet for å hente ut CNC-filer. Derimot er oppfatningen, særlig hos Moelven og Martinsons, er at dette er for dyr og avansert programvare og at den ikke vil være lønnsom for dem i dag. Dette gjelder særlig for analyseprogrammene. De mener at det er den rådgivende bransjen som må satse på denne type programvare. Mens Trebyggeriet benytter seg av noe mer avansert programvare, og har god erfaring med å modellere trekonstruksjoner. Ved bruk av disse programmene har han kommet frem til at filformatet IFC ikke fungerer for dem i dag. De inneholder for mye informasjon på noen områder og/eller for lite på andre og blir på den måten vanskelig å jobbe med og trenger utvikling for at det skal bli mer anvendelige. Han belyser problemstillinger ved bruk av IFC og åpne filformater, som kontraktsformer mellom de forskjellige aktører og RIBs posisjon i prosjekteringsgruppa. Dette gir en indikasjon på at det vil bli nødvendig med revidering av prosesser i bygg- og anleggsbransjen. Kontraktsformer som benyttes i dag er sikre og er blitt testet opp mot Norges Lover. Nye kontraktsformer vil bli en stor og omfattende omstilling på mange plan, til og med for lovverk.

Takstolindustrien er klar over BIM og dens inntreden i bransjen, men det ser ikke ut til at de mest anvendte programmene for takstoler blir IFC-kompatible med det første. De fleste program som blir brukt i takstolindustrien vil være applikasjonsprogramvare for de større programmene som tar seg av fullmodelleringen. Erfaringen for Kartro og andre er at IFC-filer er tunge og jobbe med og at de ikke fungerer optimalt. Dette bygger opp under det som er beskrevet i avsnitt 1.1 om BIM og bekrefter utviklingspotensialet for IFC-formatet. Det er ønskelig at overført data kun inneholder nødvendig informasjon for å unngå at den blir tung å jobbe med.

Ferdighusindustrien synes å allerede være godt i gang med BIM og avansert programvare for analyse og noen aktører har god kunnskap om hva som er nødvendig for at systemet skal fungere. Faktor Eiendoms nye fabrikk i Rakkestad er et godt eksempel. Alt er her automatisert og mye av produksjonen skjer ved montasje av roboter. Robotene blir styrt fullstendig av modellen fra Intent, og det er slik en direkte kobling fra start til slutt. Det er i hovedsak bæring av stål som blir benyttet, men Faktor Eiendom mener at det ikke skal være noe problem å gå over til bæring av tre såfremt man får roboter som kan håndtere gode nok forbindelser. I dag produserer robotene stendervegger av tre som fyller ut mellom hovedbæringen av stål, så noe kunnskap har de allerede på dette området.

Oppsummering

Etter samtaler med diverse aktører i treindustrien fremkommer det få ønsker og liten vilje til omstilling fra 2D- til 3D-modelleringsverktøy. Slik mange ser det, vil det ikke være økonomisk forsvarlig å benytte slike avanserte modeller med tanke på tidspresset de har, og det synes å være vanskelig å forsvare utgiften av dyr programvare. Ferdighusprodusentene viser mest interesse på dette området. Her er det mer modulbygging og standardiserte modeller som gjør det enklere å ha fullverdige objektbiblioteker osv. Dette lar seg ikke gjøre i samme grad hos f. eks. limtreprodusentene som produserer mange ulike og ofte unike komponenter. Derimot er det enighet om at 3D-modellering og denne typen programvare er den rette veien å gå, men det er en skepsis som gjør at få vil ta det første steget. Det er ukjent og det fører med seg en usikkerhet som er vanskelig å utfordre for mange, særlig i en hektisk hverdag. Dette indikerer at det er hos element/ferdighusprodusentene utviklingen vil starte først. Dette vil kunne dra med seg resten av bransjen etter hvert.

5.2 TEKLA og SAP

Tekla Structure og SAP2000 er fullstendig konkurransedyktige programvarer for trekonstruksjoner, både med hensyn til kvalitet og funksjonalitet. Tekla har en enkel modelleringsmetode, og har store muligheter til å skape detaljrike modeller for forskjellige konstruksjoner.

Tekla har et utviklingspotensial for treobjekter. Det finnes ikke mange ferdige komponenter som ligger i programmets databaser, og heller ikke mange materialegenskaper. Derimot er det

ikke vanskelig å modellere egne, og en kan lagre de elementene man komponerer slik at en har disse til neste konstruksjon. Slik kan man lage seg et eget objektbibliotek som består av objekter og elementer som er særegne for hver enkeltts behov. Tekla skaper god oversikt over hele bygget og gir gode muligheter for bedre prosjektledelse og produksjon.

Når det gjelder SAP2000 inneholder programmet de analyser som trengs for å gjennomføre beregninger av trekonstruksjoner. SAP2000 har egenskaper som kreves for å modellere tre, som ortotrope materialer, valgfrie elementkoblinger, osv. Det er en god link mellom Tekla og SAP2000 som fungerer bra, men det mangler link mellom treobjekter i Tekla og SAP2000. Dette vil kunne løses ved å skape en egen tremappe, med ny link mellom objektene. Problemstillingen vil bli formidlet videre til programvareleverandøren.

En annen svakhet som bør utbedres er at det ennå ikke er implementert Eurocode 5. Dette indikerer at man ikke kan gjennomføre automatiske kodesjekker i programmet. Uansett er beregnede resultater fortsatt riktige i forhold til angitte materialegenskaper, slik at det er ikke noe problem å benytte seg av dem til dimensjonering av trekonstruksjoner.

5.3 Revit og Robot

Revit Structure og Robot Structural Analysis Professional er meget konkurransedyktige produkter for trekonstruksjoner. Revit Structure har et brukervennlig grensesnitt og har de modelleringsalternativ som er nødvendig for å fullmodellere trekonstruksjoner. Revit har et utviklingspotensiale når det kommer til uavhengige analysemodeller som kan manipuleres til ønskede egenskaper uten at BIMen eller ”moderskipet” blir berørt. Dette er utviklerne klar over og det jobbes med å løse problemet. Revit har god representasjon av resultater ved å kunne produsere tegninger, mengdelister osv. og skaper en god oversikt av et prosjekt.

Robot er et fullverdig analyseprogram for alle typer konstruksjoner og materialer. Robot har kommet lenger enn SAP2000 ved at EC5 er blitt implementert, og med det kan gjennomføre kodesjekker opp mot den gjeldende standard i Norge for trekonstruksjoner. I tillegg er enkelte predefinerte treobjekter implementert i egne databaser, hvor det i tillegg er laget egne beregningsapplikasjoner som kan dimensjonere valgte standardløsninger. Dette gir en god totalpakke for hele konstruksjonen og gir et godt grunnlag for gode arbeidsrutiner og sikre resultater.

5.4 DDS

DDS driver med utvikling av en analysedel, og når dette kommer inn vil de kunne tilby en fullverdig BIM-løsning for bolighus-/rekkehussegmentet. Ved å utvikle et bjelke-/søylesystem vil de også kunne strekke byggene sine mer i høyden og kunne tilby en løsning for fleretasjes hus i tre. Ut fra en demonstrasjon vist av Svein Inge Nærheim, virker DDS-programvaren til å ha et meget anvendelig og allsidig brukergrensesnitt. I tillegg tilbyr de en BIM-løsning som fungerer for sitt nåværende marked. Flere andre jeg har hatt kontakt med har gitt programmet gode skussmål. Det er best rettet opp mot bolighus-/rekkehussegmentet, men de har absolutt et potensial for å utvide til større bygninger.

5.5 Overordnet diskusjon

Årsaken til at 3D-modellering og mer avansert programvare ikke har kommet lenger i treindustrien i Norge i dag synes å ligge i det faktum at tilgjengelig programvare ikke har vært utviklet tilstrekkelig til å skape tilfredsstillende modeller og tidsbesparende arbeidsformer for treindustrien. De tilgjengelige programmer har vært rettet opp mot stål- og betongkonstruksjoner og har ikke gitt treindustrien noe utbytte ved å skifte til denne type programmer. Utviklingen er nå på riktig vei og det vil være avgjørende for treindustrien å engasjere seg i utviklingen av mer avansert programvare for ikke å bli akterutseilt i forhold til stål- og betongindustrien.

Nå som trekonstruksjoner kan strekkes i høyden gir dette større behov for mer avanserte analyser av konstruksjonen. Stabilitetsanalyser er et kritisk punkt i større trebygninger. Her er det en absolutt nødvendighet å gjennomføre stabilitetsberegninger av hele bygget. Det blir stilt enkelte spørsmål om dette fra rådgivende ingeniørfirmaer fra tid til annen. Dette indikerer at vindavstivning ikke er noe de har full kontroll på for bygg de dimensjonerer til daglig. Her trengs det et kunnskapsløft for bransjen.

Som nevnt tidligere bringer BIM og dens grunntanke komplikasjoner med seg som må utbedres for at BIM skal kunne fungere optimalt. Kontraktsformer er en viktig del som det må arbeides med slik at ansvarsrollene blir fordelt riktig i forhold til eierskap av modeller. Standardisering av IFC-formatet vil være en god start, men IFC er ikke den endelige løsningen. Det vil være avgjørende å øke kunnskapsnivået rundt BIM og skape god

kommunikasjon bransjene imellom. Dette er en endring av prosjektering, prosjektstyring og produksjon som innebærer deltagelse fra alle aktører. Dette gjelder like mye treindustrien som betong- og stålindustrien.

Forbindelser er som oftest det vanskeligste å håndtere ved dimensjonering av trekonstruksjoner. De mer avanserte analyseprogrammene håndterer ikke forbindelser i dag. Det nærmeste man kommer er de ferdig programmerte Excel-filene som Robot har som egne applikasjoner til sitt program, nevnt tidligere i oppgaven. Disse løser standardforbindelser hentet ut fra EC5. Dette er bedre enn hos de fleste programmer, men når man skal ha en forbindelse som er utenom standardløsninger, må man gjøre egne beregninger utenom anvendte analyseprogrammer. Dette skaper dårlig flyt og effektivitet og gjør at forbindelser blir et forsinkende ledd i analyseprosessen. For at trekonstruksjoner skal bli fullstendig BIM-basert treggs det en løsning for håndtering av forbindelser. En løsning på problemet kan være å skape et program som håndterer alle typer forbindelser uavhengig av utforming, type forbinder og materiale. StatCon leverer analyser av de fleste forbindelser. Hvis for eksempel Tekla kan levere sin modell, eller nødvendig informasjon, via IFC-formatet til eksempelvis StatCon, kan StatCon dimensjonere, skape grafikk av forbindelsen og så leverer dette tilbake til Tekla. Slik vil modellen i Tekla inneha informasjon om dimensjoner på forbindelser. Denne løsningen kan sammenliknes med det CSCE gjør med TrussCon og RoofCon for blant andre DDS i dag. Dette indikerer at teknologien er tilgjengelig og at det vil kunne være en god og konkurransedyktig løsning av mangel på forbindelseshåndtering i en BIM-sammenheng.

6 Konklusjon

Undersøkelsen som er gjennomført konkluderer med at det er manglende bruk av 3D-modellering og avansert programvare i treindustrien i Norge i dag. Grunnen til dette er at tilgjengelig programvare ikke har vært utviklet godt nok til å skape gode modeller og tidsbesparende arbeidsformer for treindustrien. Dette har medført at treindustrien har havnet noe etter stål og betong, og i den sammenheng kan risikere å ikke konkurrere på like vilkår. Dette er fortsatt et problem, men det blir satset på utvikling og det er flere programvareleverandører som nå sikter inn på treindustrien og har gode løsninger som kan brukes med ønskede resultater. Det er viktig at bransjen engasjerer seg og blir en pådriver for videre utvikling.

Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) er ikke løsningen for den perfekte byggeprosess, men det er et meget godt hjelpemiddel på veien. Det er utviklingspotensial for BIM og det har dukket opp problemstillinger grunnet nye tankesett som må løses. Her kan det nevnes:

- Velfungerende filformater. IFC har blitt presentert som redningen for informasjonsflyt, men det er tydelig at disse ikke fungerer optimalt. Utvikling av standarder for informasjonsdeling vil være viktig å få utviklet slik at informasjonsflyt vil fungere og skape positivt utbytte for brukere.
- Eierskap og ansvar for modeller er et tema som vil skape diskusjoner i fremtiden. Dette vil kunne skape endringer helt til Norges Lover. Kontraktsformene som bygg- og anleggsbransjen bruker i dag er blitt testet opp mot Norges Lover, men disse kontraktsformene representerer ikke deling av modeller og hvem som er ansvarlig ved oppståtte feil i modeller. Det trengs utvikling av nye kontraktsformer som omhandler modelldeling og ansvarsdeling.

Omtalte programmer vil kunne gi treindustrien nye muligheter for mer effektiv prosjektering, produksjon og prosjektledelse. Nyere analyseprogrammer bedrer potensialet for bruk av trevirke i mer avanserte konstruksjoner. Mulighet for ortotrope elementer gir virkelighetsnære

modeller som sikrer gode analyser og øker innsikten for trevirke som byggemateriale i større bærende konstruksjoner.

Analyse av stabilitetsegenskaper til trekonstruksjoner er viktige, og nyere programvare har det som trengs for å kunne utføre gode analyser og skape en kompetanseheving på området. Her kan nevnes Tekla Structure , Revit Structure, DDS, SAP2000 og Robot Structural Analysis Professional, m. fl., som alle leverer konkurransedyktige løsninger for treindustrien. Det er en stadig utvikling som vil forbedre mulighetene for treindustrien ved bruk av mer avansert programvare. Nå er det aktørene selv som må ta det neste steget å prøve ut og gi tilbakemeldinger, for slik å skape et best mulig resultat.

Det kan konkluderes med at beregninger av forbindelser for trekonstruksjoner ikke blir håndtert godt nok i dagens konstruksjonsanalyseprogram. Dimensjonering må som oftest gjøres utenom anvendt analyseprogram, noe som senker effektivitet og flyt. Det vil bedre tilbudet og konkurranseevnen til treindustrien dersom det blir utviklet løsning for håndtering av forbindelser, uavhengig av utforming, som også leverer nødvendig informasjon tilbake til bygningsinformasjonsmodellen.

7 Tabelliste

Tabell 1: Limtreindustrien.....	- 29 -
Tabell 2: Takstolindustrien.....	- 29 -
Tabell 3: Ferdighus- og elementhusindustrien	- 30 -

8 Figurliste

Figur 1: Tretverrsnitt (Bovim 2009).....	- 5 -
Figur 2: Statsbyggs eksempelbygg (Cervenka 2010).....	- 7 -
Figur 3: Big P-Delta og Little P-Delta (Dobson 2003).....	- 14 -
Figur 4: Små forskyvninger.....	- 15 -
Figur 5: Store forskyvninger.	- 16 -
Figur 6: Eksempel på inkrementfunksjon (Autodesk 2009).	- 17 -
Figur 7: BIM-prosessen i Tekla (Tekla 2010c).....	- 33 -
Figur 8: Aktører i Tekla-prosessen (Tekla 2010d).....	- 34 -
Figur 9: Analyseprosess (Tekla 2010e).....	- 36 -
Figur 10: Tekla-modell, Egentilpassede komponenter (Custom Components).	- 38 -
Figur 11: Tekla-modell. Rendrerte egentilpassede komponenter.	- 39 -
Figur 12: Diaphragm Constraints i SAP2000 (CSI 2010c).....	- 42 -
Figur 13: Tekla-modell. Fysisk modell.	- 45 -
Figur 14: Tekla-modell. Analysemodell.	- 46 -
Figur 15: Tekla-modell. Analyseelementer.....	- 47 -
Figur 16: SAP2000-modell. Skiveplassering i nøytralakse.	- 48 -
Figur 17: Eksempel på rapport.	- 49 -
Figur 18: Produksjonstegning fra Tekla.....	- 50 -
Figur 19: Takplan fra Tekla (ikke i målestokk).	- 51 -
Figur 20: SAP2000-modell. Rendrert modell.	- 52 -
Figur 21: SAP2000-modell. Skjærkraft i bjelker, V33.	- 53 -
Figur 22: SAP2000-modell. Opplagsreaksjoner.	- 53 -
Figur 23: SAP2000-modell. Aksialkrefter i søyler og vindstag.....	- 54 -

Figur 24: SAP2000-modell. Deformasjon.	- 55 -
Figur 25: SAP2000-modell. Aksialkrefter i plate, mesh 1*1.	- 57 -
Figur 26: SAP2000-modell. Aksialkrefter i plate, mesh 10*5.	- 57 -
Figur 27: SAP2000-modell. Skjærkrefter rundt elementer, mesh 1*1.	- 58 -
Figur 28: SAP2000-modell. Skjærkrefter rundt elementer, mesh 10*5.	- 58 -
Figur 29: Akse og reaksjonsretninger i SAP2000 for shell/solid-elementer (CSI 2010c)..	- 60 -
Figur 30: BIM i Revit Structure (Autodesk 2010b).	- 61 -
Figur 31: Toveiskommunikasjon mellom Revit og Robot(Autodesk 2010d).	- 64 -
Figur 32: Toveiskommunikasjon mellom Revit og Robot(Autodesk 2010d).	- 65 -
Figur 33: Treforbindelse i Robot (Autodesk 2010c).	- 67 -
Figur 34: Eksempelbygg fra Revit Structure (Mørch 2010).	- 68 -
Figur 35: Eksempelbygg fra Robot Professional Analysis (Mørch 2010).	- 69 -
Figur 36: Samvirke i DDS-CAD A&K (Nærheim 2010).	- 70 -
Figur 37: BIM i DDS-CAD A&K (Nærheim 2010).	- 71 -
Figur 38: Samarbeidslinker for DDS-CAD A&K (Nærheim 2010).	- 72 -
Figur 39: Eksempelbygg fra DDS-CAD A&K (Nærheim 2010).	- 72 -

9 Referanser

9.1 Skriftlige referanser

Autodesk. (2009). ROBOT-manual. Version 20.00.

Autodesk. (2010a). *Bedriftsinformasjon*. Tilgjengelig fra: <http://www.autodesk.co.uk/adsk/servlet/index?siteID=452932&id=13307415> (lest 16.04.2010).

Autodesk. (2010b). The foundation of BIM for structural engineering.

Autodesk. (2010c). Robot Extensions-Spreadsheet Calculator. 2.

Autodesk. (2010d). Robot Structural Analysis Professional 2010. 6.

Bell, D. J. (1990). *Mathematics of linear and nonlinear systems: for engineers and applied scientists*. Oxford: Clarendon Press. xii, 304 s. s.

Cad-Q. (2010). *Bedriftsinformasjon*. Tilgjengelig fra: http://www.cad-q.com/no/Om_oss/ (lest 16.04.2010).

CSI. (2009). SAP2000-Getting started.

CSI. (2010a). *Analysemuligheter i SAP2000*. Tilgjengelig fra: http://www.csiberkeley.com/SAP/SAP_analysis.html (lest 16.04.2010).

CSI. (2010b). *Bedriftsinformasjon*. Tilgjengelig fra: http://www.csiberkeley.com/company_about.html (lest 16.04.2010).

CSI. (2010c). SAP2000 Basic analysis Reference.

Dobson, R. (2003). P-delta - , "P-Delta Analysis" New Steel Construction, Jan/Feb 2003, Vol. 11, No.1.

EDR. (2010). *EDR, produktinformasjon*: Engineering Data Resources AS. Tilgjengelig fra: <http://www.edr.no/produkter/bim/tekla> (lest 16.04.2010).

Eurocode5. (2004). *Design of timber structures*: Tekchnical Committee CEN/TC250.

Glasø, G. (2004). *Fleretasjes trehus*. Fokus på tre, nr 32. Oslo: Norsk Tretekniske Institutt.

Habibullah, A., Pyle, Stephen. (1998). Practical Three Dimensional Nonlinear Static Pushover Analysis.

Hjelseth, E. (2009). Exchange of relevant information in BIM-objects., 13: 13.

Huebner, K. H. (2001). *The Finite element method for engineers*. New York: Wiley. XVIII, 720 s. s.

Nordheim, M. (2008). *Bruk av tre i fleretasjeshus*. Ås: [M. Nordheim]. 92, 12 bl. s.

Norges byggforskningsinstitutt. (2003). *Håndbok 51, fleretasjes trehus*.

Tekla. (2010a). *Bedriftsinformasjon*. Tilgjengelig fra: <http://www.tekla.com/se/about-us/history/milestones/Pages/Default.aspx> (lest 16.04.2010).

Tekla. (2010b). *Informasjon om Tekla*. Tilgjengelig fra: <http://www.tekla.com/se/solutions/building-construction/Pages/bim.aspx> (lest 16.04.2010).

Tekla. (2010c). *Tekla-fig*. Tilgjengelig fra: <http://www.tekla.com/se/solutions/building-construction/structural-engineers/Pages/Default.aspx> (lest 16.04.2010).

Tekla. (2010d). *Tekla-fig*. Tilgjengelig fra: <http://www.tekla.com/se/solutions/building-construction/structural-engineers/collaboration/Pages/Default.aspx> (lest 16.04.2010).

Tekla. (2010e). *Tekla-fig*. Tilgjengelig fra: <http://www.tekla.com/se/solutions/building-construction/structural-engineers/integration-with-A-D/Pages/Default.aspx> (lest 16.04.2010).

9.2 Personlig kommunikasjon

Bovim, N. I. (2009). *Tretverrsnitt*.

Berg, E. (2010). *Bedriftsinformasjon* (12.04.2010).

Bjørnbakk, S. (2010). *Informasjon om anvendt programvare hos Unikus AS*. Ås (18.01.2010).

Cervenka, Z. (2010). *Eksempelbygg, Statsbygg*. (09.02.2010).

Daasvatn, S. (2010). *Informasjon om anvendt programvare hos Trebyggeriet*. Ås (18.01.2010).

Hofverberg, M. (2010). *Informasjon om CSCE sine programmer*. Ås (19.01.2010).

Kristiansen, Å. (2010). *Informasjon om anvendt programvare hos Faktor Eiendom AS*. Rakkestad (22.01.2010).

Lindgren, G. (2010). *Informasjon om anvendt programvare hos Martinsons Massivtre*. Ås (19.01.2010).

Liven, H. (2010). *Kartlegging av programvare* (18.01.2010).

Munch, K. V. (2010). *Infomasjon om Robot Profesional Analysis*. Oslo (13.04.2010).

Mørch, C. (2010). *Eksempelbygg Revit og Robot*. Ås: Cad-Q (15.04.2010).

Norum, B. (2010). *Informasjon om programvare i ferdighusindustrien*. Ås (18.01.2010).

Nærheim, S. I. (2010). *Informasjon om DDS*. Oslo (10.03.2010).

Sagen, A. (2010). *Informasjon om programvare for takstorindustrien*. Ås (12.01.2010).

Thorsrud, H. (2010). *Informasjon om annvendt programvare hos Kartro AS*. Ås (22.01.2010).

10 Vedlegg

- Vedlegg 1 Rapporter av eksempelbygg.
- Vedlegg 2 Tegninger av eksempelbygg.
- Vedlegg 3 Robot Extensions - Spreadsheet Calculator, 2010.

MATERIALLISTE
PROJEKT: Case-bygg

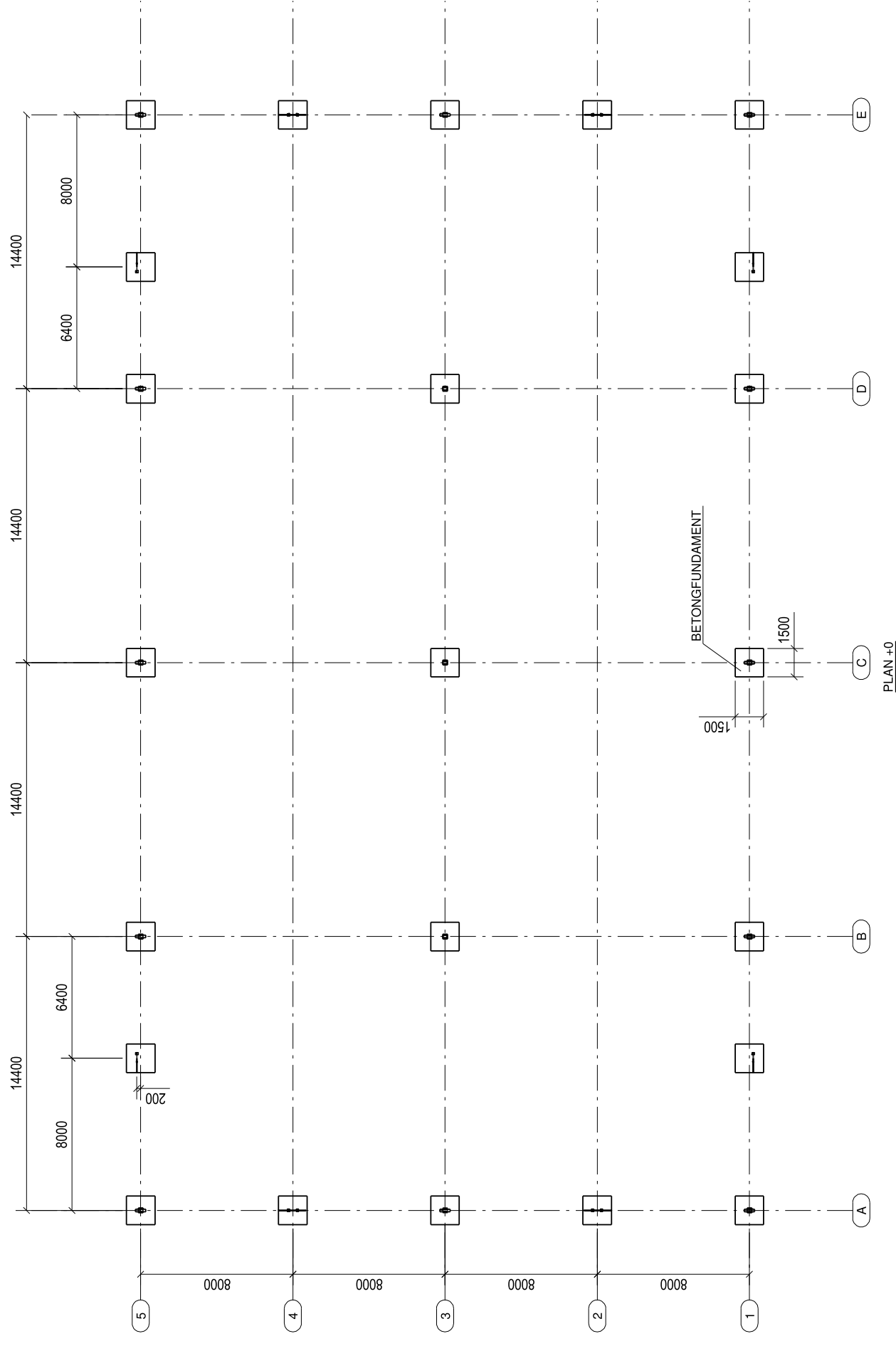
PROJEKTNUMMER: 12345
DATO: 22.04.2010

Side: 1

Navn	Assembly	Ant. (stk)	Dimension (mm)	Lengde (mm)	Vol/st (m ³)	Vol. tot (m ³)	Area (m ²)	Vekt/st (kg)	Vekt tot (kg)
PLATE	A.1	4	PL2.5*65	90	0.00	0.00	0.0	0.2	0.2
Randdrager	B.2	4	140*990	16270	2.25	8.98	38.4	785.9	785.9
Randdrager	B.3	2	140*990	14328	1.98	3.95	34.0	691.7	691.7
Randdrager	B.4	1	140*990	14400	1.98	1.98	35.6	691.8	691.8
Randdrager	B.5	1	140*990	14327	1.98	1.98	34.0	691.7	691.7
BALK	B.6	103	140*990	14255	1.98	203.5	32.5	691.5	691.5
BALK	B.7	6	140*990	16130	2.23	13.36	38.1	779.1	779.1
Randdrager	B.8	2	140*990	14400	1.98	3.95	35.6	691.8	691.8
Randdrager	B.9	1	140*990	14328	1.98	1.98	34.0	691.7	691.7
BALK	B.10	1	140*990	14255	1.98	1.98	32.5	691.5	691.5
BALK	B.11	11	15*790	1200	0.01	0.15	2.0	6.7	6.7
BALK	B.12	1056	D12	140	0.00	0.02	0.0	0.0	0.0
Randdrager	B.13	1	140*990	14400	1.98	1.98	35.6	691.8	691.8
BALKSKO SPECIAL	BALKSK	106	PL2.5*90	145	0.00	0.04	0.3	3.3	3.3
BALKSKO SPECIAL	BALKSK	106	PL2.5*70	145	0.00	0.03	0.3	2.5	2.5
GRUNDSMIDE 250	GRUNDS	15	PL15*250	250	0.00	0.02	0.2	8.3	8.3
Kryssfiner 15mm	MB.1	635	15*1200	2400	0.04	27.43	5.9	15.1	15.1
Kryssfiner 15mm	MB.2	26	15*1200	1200	0.02	0.56	3.0	7.6	7.6
PELARE	P.1	8	540*140	9935	0.75	6.01	13.7	262.9	262.9
PELARE	P.2	2	540*140	9935	0.75	1.50	13.7	262.9	262.9
Sentersøyler	P.3	1	540*140	9935	0.75	0.75	13.7	262.9	262.9
Sentersøyler	P.4	1	540*140	9937	0.75	0.75	13.7	262.9	262.9
Sentersøyler	P.5	1	140*200	9935	0.28	0.28	6.8	97.4	97.4
Sentersøyler	P.6	2	140*200	9935	0.28	0.56	6.8	97.4	97.4
SMIDE	S.1	15	UPE140	200	0.00	0.01	0.3	5.7	5.7
SMIDE	S.2	12	30*150	150	0.00	0.01	0.1	5.3	5.3
SMIDE	S.3	12	20*140	120	0.00	0.01	0.4	9.0	9.0
PLATE	S.4	24	PL2*500	100	0.00	0.00	0.1	0.8	0.8
PLATE	S.5	6	PL2*500	200	0.00	0.00	0.2	1.6	1.6
VINDSTABILISERIN	VS.1	4	D30	12100	0.01	0.03	1.1	64.1	64.1
VINDSTABILISERIN	VS.2	1	D30	11755	0.01	0.01	1.1	62.3	62.3
VINDSTABILISERIN	VS.3	4	D30	12107	0.01	0.03	1.1	64.2	64.2
VINDSTABILISERIN	VS.4	3	D30	11700	0.01	0.02	1.1	62.0	62.0
VINDSTABILISERIN	VS.5	12	D30	790	0.00	0.01	0.1	4.2	4.2
VINDSTABILISERIN	VS.6	12	O50*10	75	0.00	0.00	0.0	0.7	0.7
VINDSTABILISERIN	VS.7	12	O50*10	100	0.00	0.00	0.0	1.0	1.0
MUTTER	VS.8	12	O35*7	45	0.00	0.00	0.0	0.2	0.2
BETONGFUNDAMENT	FP.2	23	1500*1500	1500	1.46	33.64	2.25	3510	80730

TOTALT FOR 222 DELER:

281.9 435.9 8669.4



Fundamentplan		Status
Prosj. nr. 12345	Prosjekt OBJEKT	Tegn.nr. P-1
		Rev.

Rev	Beskrivelse	Dato	Tegnet av	Kontrollert av
	OBJEKT Fundamentplan			
			Tegnet av	Sign.
			Kontrollert av	Christian
			Godkjent av	CL
		25.03.2010		Christian
		Status		

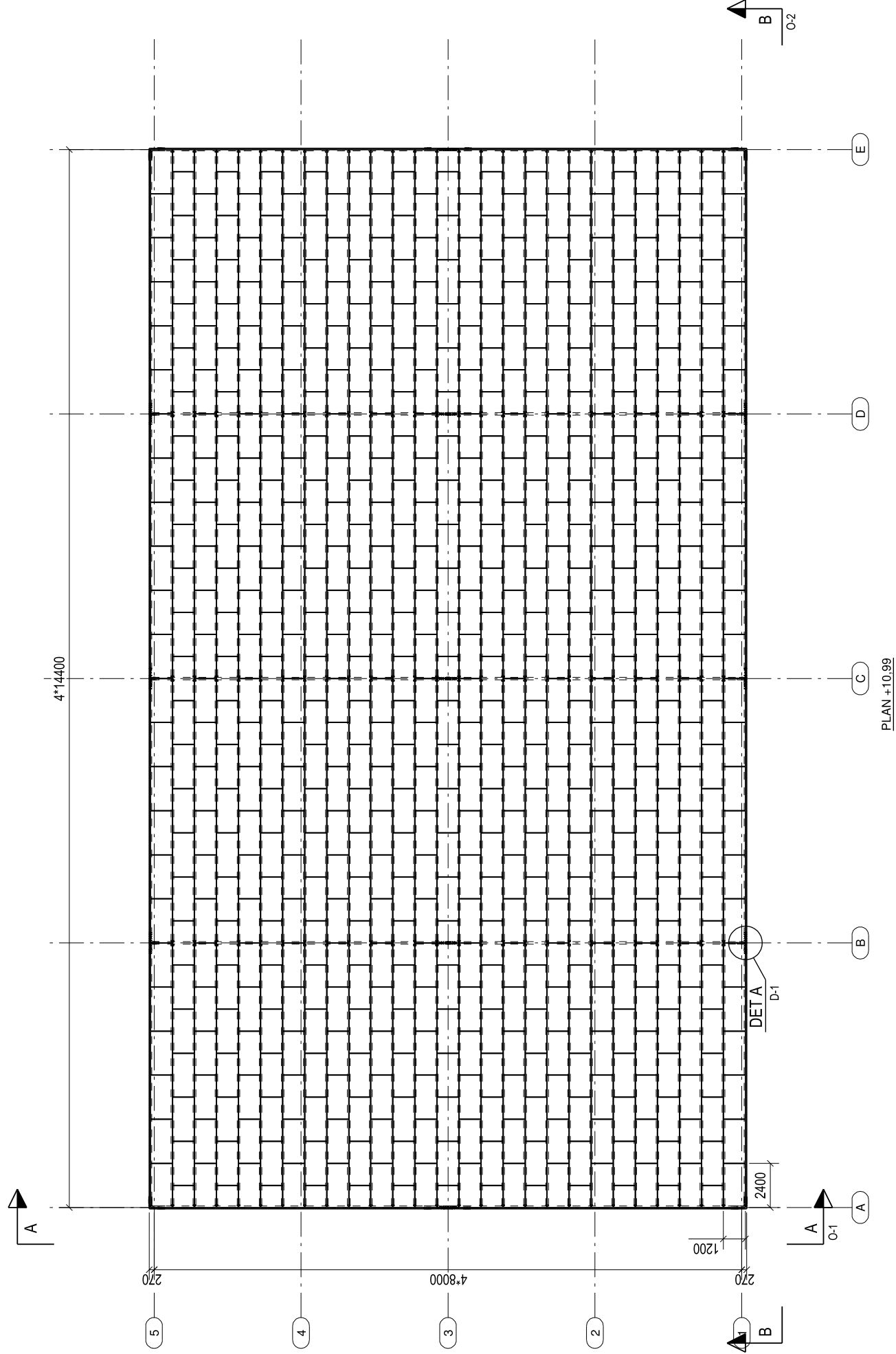
TEKLA Structures

EDR
Engineering Data Resources a.s.

Prosj. nr. 12345	Målestokk 1:200
Tegn.nr. P-1	Rev.

SOYLETABELL	BJELKETABELL	MONTASJEGODS	HULLDEKKETABELL
Antall	Antall	Antall	Antall
Uk kote	Bjelke Nr.	HD Nr.	Profil

ORIGINALFORMAT: A2



Takplan

Prosj. nr.
12345

Status
Tegn.nr.
P-2

Rev.

OBJEKT
Takplan

Dato

Tegnet av
Christian

Kontrollert av
CL

Status
Godkjent av
25.03.2010
Christian

Kontrollert av
Sign.
Christian



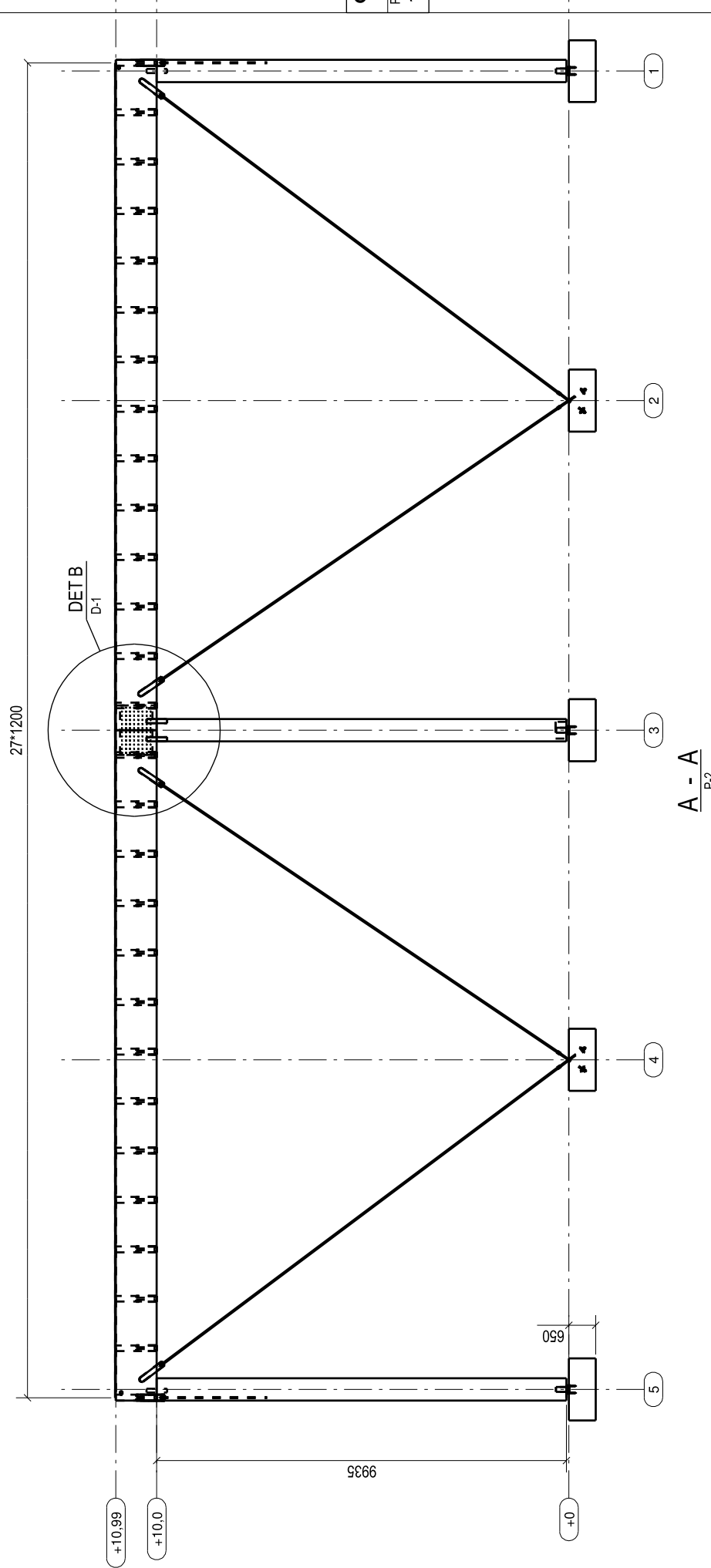
Prosj. nr.
12345

Målestokk
1:200

Tegn.nr.
P-2



Rev.

Soyle Nr.	Profil	Antall	Uk kote	Bjelke Nr.	Profil	Antall	HD Nr.	Profil	Antall	MONTASJEGODS	Antall	Antall	HULLDEKKETABELL	Antall
ORIGINALFORMAT: A2														



Oppriss		Status
Prosj. nr. 12345	Prosjekt OBJEKT	Tegn.nr. O-1
		Rev.

Rev	Beskrivelse	Dato	Tegnet av	Kontrollert av
	OBJEKT			
	Oppriss			
			Tegnet av	Sign.
			Kontrollert av	Christian
			Godkjent av	CL
			Status	Christian


TEKLA Structures

EDR
 Engineering Data Resources a.s.

Søyle Nr.	Profil	Søyle Nr.	Profil	Bjelke Nr.	Profil	Bjelke Nr.	Profil	MONTASJEGODS	Antall	HD Nr.	Profil	HULLDEKKETABELL	Antall

ORIGINALFORMAT: A2

Oppriss

Status

Tegn.nr. **O-2**

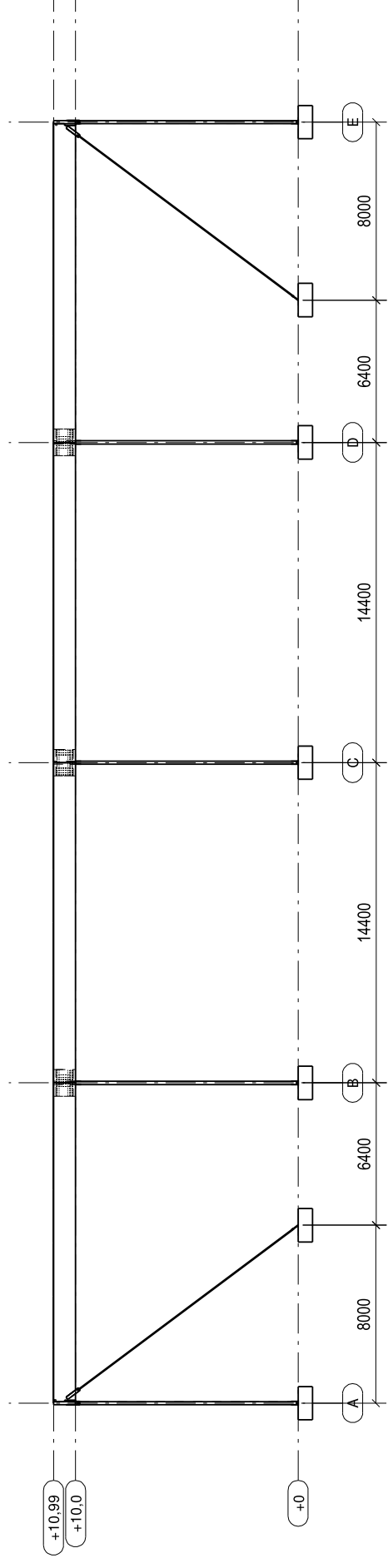
Rev.

Prosj. nr. **12345**

Prosjekt **OBJEKT**

Tegn.nr. **O-2**

Rev.



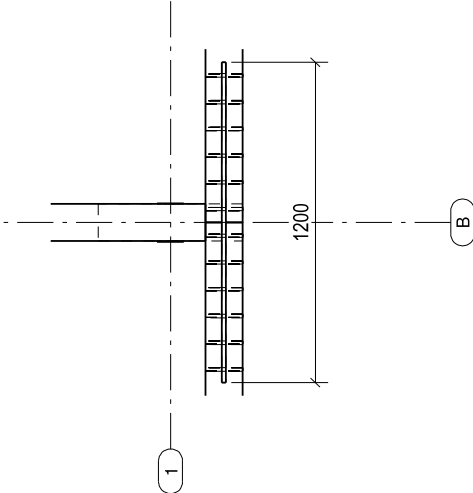
B - B
P.2

Rev	Beskrivelse	Dato	Tegnet av	Kontrollert av
	OBJEKT			
	Oppriss			
			Tegnet av	Sign.
			Kontrollert av	Christian
			Godkjent av	CL
			Dato	25.03.2010
			Status	Christian
			Prosj. nr.	12345
			Målestokk	1:200
			Tegn.nr.	O-2
			Rev.	

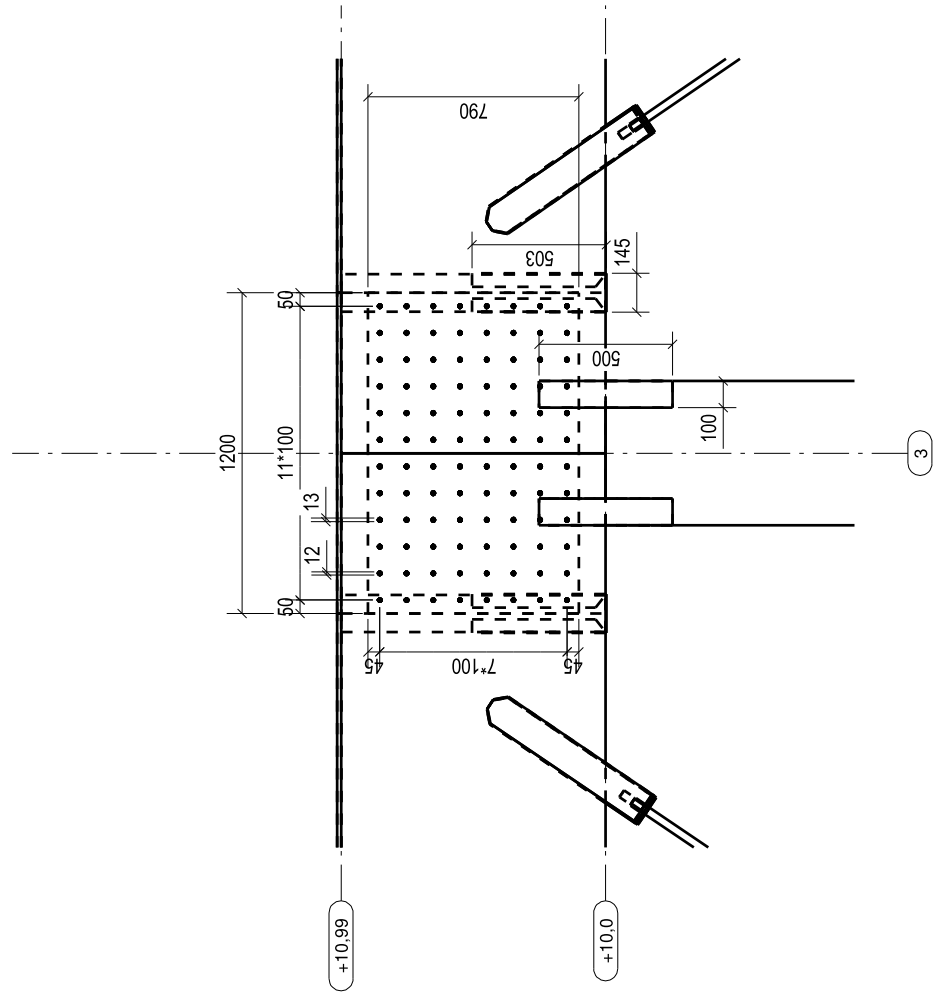


Søyle Nr.	Profil	Antall	Uk kote	Bjelke Nr.	Profil	Antall	HD Nr.	Profil	Antall

ORIGINALFORMAT: A2



DETALJ A
1:20 P-2



DETALJ B
1:20 O-1

Detalj		Status
Prosj. nr. 12345	Prosjekt OBJEKT	Tegn.nr. D-1
		Rev.

Rev	Beskrivelse	Dato	Tegnet av	Kontrollert av
	OBJEKT Detalj			Sign.
			Tegnet av	Christian
			Kontrollert av	CL
			Godkjent av	Christian
			Status	

TEKLA Structures

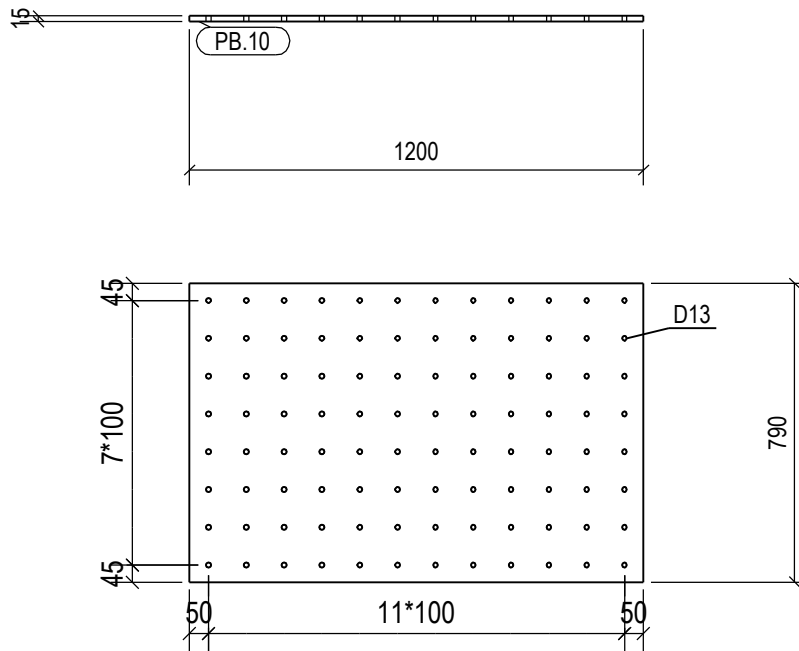
EDR
Engineering Data Resources a.s.

Prosj. nr. 12345	Målestokk 1:20
Tegn.nr. D-1	Rev.

Søyle Nr.	Profil	Antall	Uk kote	Bjelke Nr.	Profil	Antall	HD Nr.	Profil	Antall	MONTASJEGODS	Antall	HULLDEKKETABELL	Profil	Antall

ORIGINALFORMAT: A2

ANTALL	POS. NUMMER	FASE	ANTALL	FASE NAVN
11	B.11	1	11	Phase 1



Rev	Beskrivelse	Dato	Tegnet av	Kontrollert av
-----	-------------	------	-----------	----------------

STYKKELISTE FOR PB.10

LITTRA	POS. NO.	ANTALL	PROFIL	MATERIAL	LENGDE	VEKT
	PB.10	11	15*790	L40	1200	6.7

OBJEKT

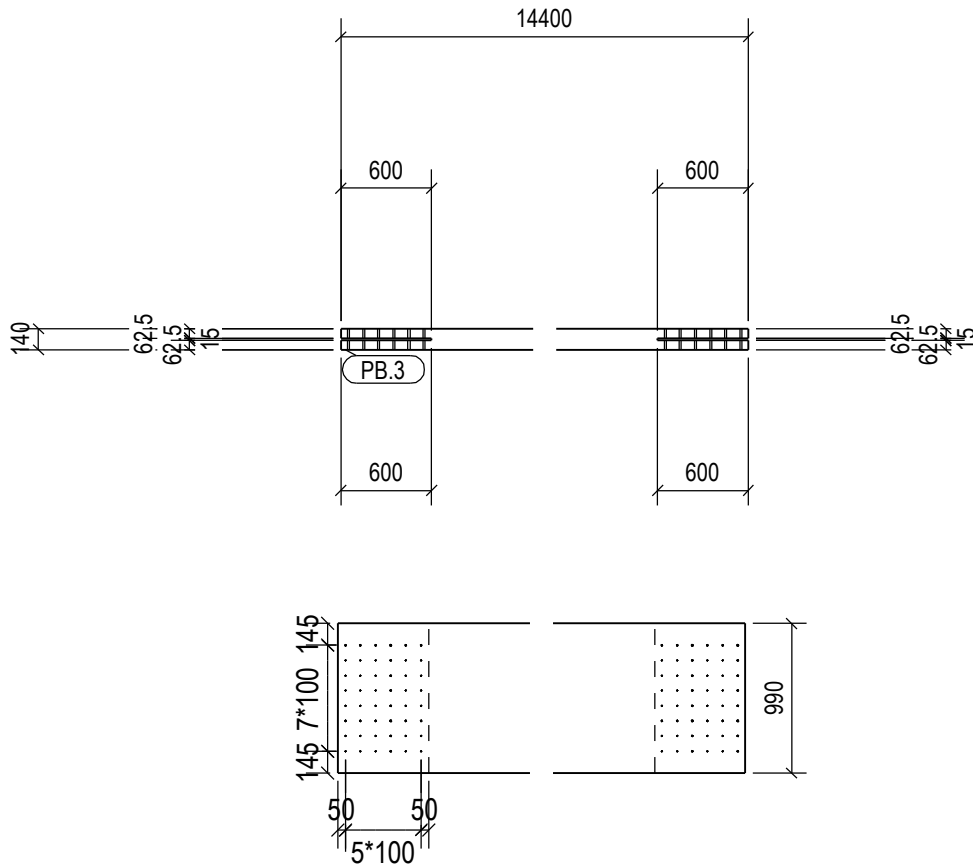
Innslissed stålplate
 Produsjonstegning

	Dato	Sign.
Tegnet av		Christain
Kontrollert av		CL
Godkjent av	25.03.2010	Christian



Status	
Prosj. nr. 12345	Målestokk 1:20
Tegn.nr. PB.10	Rev.

ANTALL	POS. NUMMER	FASE	ANTALL	FASE NAVN
1	B.4	1	1	Phase 1



Rev	Beskrivelse	Dato	Tegnet av	Kontrollert av
-----	-------------	------	-----------	----------------

STYKKELISTE FOR PB.3

LITTRA	POS. NO.	ANTALL	PROFIL	MATERIAL	LENGDE	VEKT
	PB.3	1	140*990	c24_test	14400	691.8

OBJEKT
 Limtrebjelke
 Produskjonstegning

	Dato	Sign.
Tegnet av		Christian
Kontrollert av		CL
Godkjent av	25.03.2010	Christian

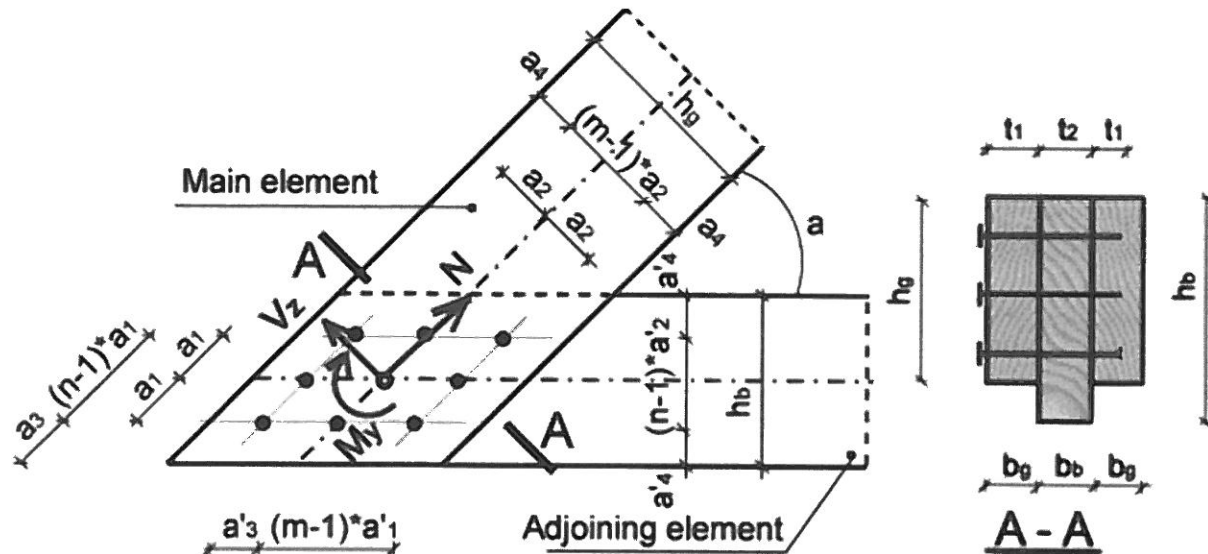


Status	
Prosj. nr. 12345	Målestokk 1:50
Tegn.nr. PB.3	Rev.

Screwed splice connection – inclined, timber-to-timber type

Code: Eurocode 5 - Design of timber structures. prEN 1995-1-1: 2003

The program is used for design and verification of the inclined, screwed splice connection of two timber elements according to the guidelines of the code: EUROCODE 5.



The connection analysis may be performed for the full set of internal forces. Component elements of the connection can be made of rectangular or double-rectangular (double-chord) sections. There is a possibility to define arrangement of screws in a connection as rectangular or staggered. The program analyzes distribution of forces in the outermost screws and based on that, determines the minimum distances of the outermost columns and rows from the element edges as well as the minimum distances between screws. Only single-shear or double-shear screws may be applied in a connection.

Parameters of sections, materials of the connected elements and fasteners are defined by the user through selection of appropriate quantities from the drop-down lists in the blue panel in the right-hand side of the screen, whereas the number of shear planes per fastener is determined in the unfolding field named *Fastener type*.

The program keeps on checking whether the connection is constructionally correct and if an error occurs, it displays a relevant message suggesting the correct value. Once internal forces and basic connection data (cross-sections, screw type, angle of inclination of the main element axis) are defined, the program specifies the proposed initial number of screws and maximum numbers of columns and rows to be defined in a connection. This information is given in the blue information panel at the level of the *Connection geometry check* option.

The connection check includes verification if fastener arrangement is geometrically correct for both connected elements and check of the load-carrying capacity of fasteners. If a fastener diameter exceeds 4.5mm, an additional verification of the section weakened by fastener holes is carried out.

Cooperation of the program with ROBOT

Data about geometry, bar materials and forces may be automatically imported from a real structure modeled in the ROBOT program. The verification is performed for a selected load case (simple case, combination, code combination component or **code combination**). The program reads a set of internal forces acting in the common node on the main element's side. The information is obtained in two ways:

- **Data import** – information reading by numbers of bars, nodes and case determined in the application.
 - Enter the numbers of connected members into the *main element* and *adjoining element* fields. Into the *list* field enter the number of a load case for which calculations are to be performed.
 - To define a load case list, enter load case numbers one by one, separated with comma or space character (e.g.: 1 2 4 8 or 1,2,4,8). In this situation, the program will perform calculations for all the defined cases and give results for the case causing the greatest ratio of the connection.
 - If a code combination is included on the list, then the program reads all the combination components and analyzes them analogously as for the list of cases. If a code combination component proves decisive, in the *Number of decisive load case* field the combination number will be shown, while in the additional field named *Case component* the number of the decisive component will appear.

- If prior to starting data import the *list* field shows the code combination number, whereas in the *Case component* field a number of its component is defined, then the program will import internal forces only for this component. If the *Case component* field is left blank, all the code combination components will be imported.
 - If the key word "all" is entered into the *list* field, all the load cases defined in the calculation model will be imported.
- **Data import (graphic selection)** – reading of information referring to bars, nodes and cases selected in the ROBOT system.

Data:

Internal forces

- Full set of internal forces [N, My, Mz, Qy, Qz]

Main element

- Parameters of section and material, e.g. from databases

Adjoining element

- Parameters of section and material, e.g. from databases

Screws

- Screw parameters

Connection parameters

- Angle of inclination of the main element
- Arrangement of screws in a connection
- Number and spacings of columns and rows of screws

Results:

Connection geometry check – main element and adjoining element

- Fastener spacing along the grain
- Fastener spacing perpendicular to grain
- Distance between the outermost fasteners and the element end
- Distance between the outermost fasteners and the element edge

Lateral load-carrying capacity of screws

- Load-carrying capacity per single fastener

Verification of the connection load-carrying capacity

- Verification of load-carrying capacity of the screw with the highest ratio

Verification of load-carrying capacity of the weaker element – weakened by screw holes