

# Nyckelfrågor vid användning av generella IT-verktyg i träbyggprocessen

Göran Berggren

Luleå tekniska universitet  
Skellefteå Campus





## Förord

Arbetet som presenteras i denna licentiatuppsats har jag utfört som industridoktorand vid SP Trätek i Skellefteå, inskriven vid Luleå tekniska universitet, Institutionen i Skellefteå, Träteknologi. Arbetet har ingått i projektet ConITwood som skett i samarbete med Institutionen för Samhällsbyggnad och dess Avdelning för Träbyggnad samt NCC AB. Finansiellt har arbetet stöttats av SkeWood, Trämekanikprogrammet, Kempestiftelserna, Industrikonsortiet Massivträ samt Svensk Trä.

Parallellt existerade också Industrikonsortiet Massivträ, ett projekt som drivits av trä och byggindustri vars syfte varit att utveckla komponenter och system för byggande i massivträ. Projektet pågick i tre år och avslutades 2002, som resultat har en handbok tagits fram för byggande i massivträ (Massivträhandboken, 2002). Projektet initierades och följdes av Holmen Skog, Martinsons Trä, NCC, Norra skogsägarna, SCA, Scaninge Timber och AB Trätek. AB Trätek var träbranschens industriforskningsinstitut och ingår sedan 2004 i SP, Sveriges provnings och forskningsinstitut, Bygg och mekanik.

Även om jag ensam står som författare till vill jag härmed tacka:

Professor Anders Grönlund, min handledare som med sin kunskap och breda kompetens givit mig vägledning och feedback under min forskarutbildning. Nils-Olof Berglund & Håkan Jonsson, Norra Massivträ AB, Lennart Edlund, Martinsons Trä AB och Lars-Erik Åhlin, NCC AB, för deras arbete i projektets referensgrupp där de bidragit med tankar, erfarenheter, idéer och synpunkter. Mina arbetskamrater på SP Trätek som med sina kompetenser, positiva anda och glada tillrop givit mig en utvecklande arbetsmiljö med mycket glädje och skratt mitt i allt allvar. Mina ”gamla” arbetskamrater på LTU Träteknologi som fungerat som goda förebilder i min egen forskarutbildning.

Ett speciellt tack till min fru Ulrika, samt mina älskade barn, Henrik och Hanna som hjälpt mig att återigen uppskatta de ”små” sakerna här i livet.

Göran K. Berggren  
Skellefteå augusti 2005

*”All vetenskaps början är förvåningen över att tingen är som de är.”*

*”Det finns å ena sida teoretiskt vetande (episteme) som är universellt och evigt, detta rör saker som bara kan vara på ett sätt och därmed är nödvändigt och bevisbart. Det praktiska förnuftet (fronensis) å andra sidan är mänskliga angelägenheter som kan förhålla sig på olika sätt... ”*

*Aristoteles (Grekisk empiriker som förespråkade ”Sinnena framför förnuftet”)*

## Sammanfattning

Varje industri arbetar idag med att söka lösningar för att minimera kostnader, ett sätt är att förkorta tiden för utveckling av sina produkter eller tjänster. Svensk träindustri söker också nya sätt att få bättre lönsamhet genom att utveckla nya kundorienterade produkter, t.ex. Engineered Wood Products (EWP), och därmed höja förädlingsvärdet på träråvaran som tidigare sålts som bulk. För att då snabbare och enklare kunna designa, modellera och utvärdera nya EWP före en eventuell produktion och där datainformation kan återanvändas i flera led krävs nya verktyg, en kombination av hårdvara och mjukvara. Eftersom hårdvaran (Datorerna) under åren blivit snabbare och mjukvaran (Programmen) blivit alltmer utvecklade för att efterlikna verkligheten har möjligheterna på senare år avsevärt förbättrats att i datorn designa, analysera, produkt- produktions- och produktionsstart. Verktygen och den virtuella produkten i 3D kan sedan också användas vid marknadsföring, eller för att utarbeta en monteringsanvisning och dessutom ge möjlighet till nya tjänster, t.ex. att kommunicera produkternas egenskaper utanför den egna organisationen och branschen.

Generella tekniska verktyg och produktmodeller med tillhörande standarder för fil- och dataformat för enkelt informationsutbyte används med stor framgång inom andra branscher och avhandlingen visar på några förutsättningar och vad som krävs och kommer att krävas för att det även skall fungera i trä och byggbranschen.

För att i ett utvecklingsarbete utröna verktygens funktion, möjligheter och eventuella tillkortakommanden utfördes ett fullskaletest på prototyper bestående av spikade och limmade byggelement i massivträ. Verkliga resultat jämfördes där med resultat från ett generellt och användarvänligt programpaket bestående av 3D-CAD och FEM. Arbetet med att designa/konstruera i 3D beredde inga problem då endast enkla geometrier förekom. Programmets grafiska interface och användning av animeringar utgjorde också ett kraftfullt hjälpmedel vid utvärdering av resultat.

Vid fullskaletestet på limmade konstruktioner uppvisade verktygen god överensstämmelse mellan resultat från laborieförsök och FEM. Däremot konstaterades svårigheter att i FEM modellera och förutse deformation i spikade förband. Problematiken berodde på svagheter vid modellering av den komplexa elastisk-plastiska deformation som uppstår i det belastade spikförbandet.

Avhandlingen presenterar även några erfarenheter avseende användningen av generella verktyg tillsammans med materialet trä som är ett variabelt material med relativt stor spridning med avseende på egenskaper både mellan och inom varje träbit.

Fallstudien visar att en introduktion och användning av generella 3D-CAD (Computer Aided Design) program är det första och kanske viktigaste steget mot en bättre kommunikation eller förmedlare av information både internt och externt. 3D-CAD som idag finns i snart sagt alla industrier och branscher ger nya möjligheter och

stöd i form av t.ex. materiallistor vilka kan användas för kalkylering (t.ex. mängdning) och produktionsplanering. Andra funktioner förenklar arbetet med att skapa digitala kataloger, internetbaserade konfiguratorer och kommunikation med mer avancerade (mer övergripande) affärssystem. 3D-CAD är också en förutsättning för att så småningom införa produktmodeller, och över Internet interaktivt kommunicera med andra industrier, myndigheter, företag och kunder.

Att efter 3D-CAD sedan introducera FEM i verksamheten är relativt enkelt och ger ytterligare fördelar genom möjligheten att visualisera och förutsäga hur olika krafter, temperaturer eller andra typer av belastningar påverkar produkterna. Detta ger då möjligheten att ytterligare förbättra befintliga produkter och förkorta tiden för utvecklingen av nya, genom att i datorn först vaska fram de bästa alternativen.

I dag är det med avseende på trovärdiga resultat möjligt att använda generella FEM verktyg och ett linjärelastiskt antagande i kombination med limmade massivträprodukter.

För spikade element och förband däremot krävs ett mer komplicerat elastiskt-plastiskt antagande som förutsätter mer kunskap om det specifika förbandet samt materialens egenskaper och beteenden, både separat och i föreningen med andra.

## Summary

Every industry is today constantly looking for solutions to minimise cost. One way is to shorten the time required to develop and improve their products or services. The Swedish wood industry is also searching for better profitability by turning to more customer-oriented products, i.e., Engineered Wood Products (EWP), by refining the wooden raw material formerly sold in bulk. A faster, simplified process to develop EWP requires new tools (hardware & software) to design, analyse, evaluate and simulate a proposed production prior to the actual start of production. The increasing speed of computer hardware and advances in the software tools that imitate reality provide these new possibilities.

Common technical tools such as 3D CAD and FEM and product models in combination with standards for information interchangeability are frequently used with great success in other lines of business. This thesis shows some of the prerequisites and requirements that must be fulfilled in the wood and building branches in order to make these tools work.

In order to determine functionality, possibilities and shortcomings of the tools in a development process, a full-scale test was done consisting of prefabricated building elements made of either nailed or glued solid wood. Results from CAD models and FEM were then compared with the true results acquired in the laboratory. Designing in 3D was easy due to the simple geometries involved in the prototypes. The design tool's graphical interface and the use of animation were powerful aids in evaluating results and comparing deformation between the model and the real building element.

The tools made good predictions of deformation when applied on glued building elements. Problems occurred predicting results with the nailed elements due to the complexity of defining component interaction and to the finite element models' elastic-plastic deformation that occurs in the nailed "joints" of the building elements when they are under load.

The thesis also presents some experiences acquired during the use of the common tools applied on wood as an anisotropic biological material with a relatively large variation of properties both within and between individual pieces. By introducing and using ordinary 3D CAD tools in the wood industry today and by introducing the use of interchangeable data sets and Finite Element Modelling (FEM), it is possible to minimize the time required to develop new products by predicting some of the properties of the new products prior to production. The resulting virtual product in 3D can also easily be used for marketing purposes or for the production of assembly instructions. With the use of standardized file formats, product models and the Internet, other companies and branches can then communicate and exchange information and thereby create new ways to increase the use of building elements made of solid wood.

The case study shows that the introduction of 3D CAD is the first and possibly most important step to a better communication or intermediary of information both internally and externally, and it is a prerequisite for FEM, product models, digital catalogues, materials lists for cost estimation and production planning, Internet-based configurators and more advanced business systems.

3D CAD will over time become a prerequisite for introducing new product models and for actively communicating on the Internet with other industries, government agencies, companies and customers. Using 3D CAD it is fairly easy to introduce FEM that will make it possible to predict how different forces and temperatures will affect the products. This will increase opportunities to improve the products and shorten development time for new products by sifting out the best alternatives.

Today it is possible to use common FEM tools and then receive reliable results using a linear-elastic model when applied on glued massive wood elements. Nailed wood elements and joints, on the other hand, demand a more complex elastic-plastic assumption, which in turn presupposes more knowledge of the specific joint and the materials involved and how they interact.



<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>2</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>4</b>
<b>DEFINITIONER, FÖRKORTNINGAR OCH FÖRKLARINGAR</b> .....	<b>9</b>
<b>1 BAKGRUND</b> .....	<b>12</b>
1.1 Industrikonsortiet Massivträ .....	13
1.2 ConITwood.....	14
1.3 Forskningsfrågor .....	15
1.4 Omfattning och begränsningar.....	15
<b>2 NULÄGESBESKRIVNING</b> .....	<b>16</b>
2.1 Träindustrin .....	17
2.2 Byggprocessen och dess aktörer .....	19
2.3 Datorbaserade ingenjörswerktyg .....	21
CAD, Computer Aided Design .....	24
Dimensionering.....	26
2.4 Kommunikation och Informationsutbyte .....	31
2.5 Produktmodeller.....	35
STEP .....	37
IFC .....	40
XML.....	41
Open HSF.....	42
Övergång från 2D till 3D .....	43
2.6 Sammanfattning av nulägesbeskrivning.....	43
<b>3 FORSKNINGSMETOD</b> .....	<b>44</b>
<b>4 FALLSTUDIE: BYGGELEMENT I MASSIVTRÄ</b> .....	<b>46</b>
4.1 Material och Metoder.....	46
Val av programvara.....	46
Trämateriäl .....	47
Skivmaterial .....	48
Spikar .....	48
Spikade Väggelement.....	48
Limmade Massivträelement.....	50
4.2 Test av massivträelement i Laboratorium.....	52
4.3 Finit Element Modell.....	53

<b>4.4 Resultat från provning och FEM .....</b>	<b>55</b>
Limmade massivträväggar .....	55
Limmade kassetbjälklag .....	57
Spikade massivträväggar .....	58
<b>4.5 Känslighetsanalys av spikade väggelement .....</b>	<b>59</b>
Materialegenskaper .....	59
Förenkling av modellen .....	60
Måttnoggrannhet .....	61
Stumskarvar i byggelement .....	62
<b>4.6 Diskussion .....</b>	<b>63</b>
<b>4.7 Ny plan för att kringgå verktygets brister .....</b>	<b>67</b>
<b>5 FÖRDJUPAD STUDIE AV SPIKADE FÖRBAND .....</b>	<b>68</b>
<b>5.1 Metoder och Standarder .....</b>	<b>68</b>
<b>5.2 Försöksdesign .....</b>	<b>68</b>
Provkroppen .....	68
Material till provkroppar .....	69
<b>5.3 Hålkantshållfasthet .....</b>	<b>71</b>
Resultat hålkantshållfasthet .....	73
<b>5.4 Last-förskjutningsmodul .....</b>	<b>76</b>
Resultat Last-förskjutningsmodul .....	78
<b>5.5 Ny modell och resultat från FEM med nya materialparametrar .....</b>	<b>82</b>
<b>5.6 Avancerad fjädermodell i verktyget ABAQUS/CAE .....</b>	<b>87</b>
Fjäderkonstant .....	88
Friktion och Friktionskrafter .....	89
<b>6 DISKUSSION &amp; SLUTSATSER .....</b>	<b>92</b>
<b>6.1 Fallstudien .....</b>	<b>92</b>
Design/konstruktionsarbete och dimensionering .....	92
<b>6.2 Användaren och Verktygen .....</b>	<b>92</b>
Användarvänlighet eller Användbarhet .....	92
Skillnaden mellan att veta vad man ska göra och hur man ska göra det .....	93
Programvaruuppdateringar .....	93
Ordning och reda bland data och dokument .....	93
Trärelaterade svårigheter vid användning av 3D CAD och FEM .....	93
<b>6.3 Användning av produktmodeller i träbyggvärdekedjan .....</b>	<b>94</b>
Metod .....	95
Framtidsscenarier .....	95
Analys av scenarier .....	98
<b>6.4 Slutsatser .....</b>	<b>100</b>
<b>6.5 Fortsatt arbete .....</b>	<b>100</b>
<b>REFERENSER .....</b>	<b>101</b>
Artiklar, Rapporter etc. ....	101

<b>Standarder.....</b>	<b>105</b>
<b>Internetreferencer .....</b>	<b>106</b>
<b>BILAGOR .....</b>	<b>107</b>

## Definitioner, Förkortningar och Förklaringar

### Byggsystem i Massivträ

Ett byggsystem av massivträ består av bjälklag och väggelement som till övervägande del är uppbyggda av solitt trä samt de övriga byggnadsdelar som dessa element samarbetar med. (Massivträhandboken, 2002)

### CAAD Computer Aided Architect Design

Datorstödd projektering.

### CAD Computer Aided Design

Datorstödd konstruktion. 2D-CAD är vanligtvis en *ritning* dvs. en vy eller yta (t.ex. ett våningsplan) av en 3D-modell. 3D-CAD avser en 3-dimensionell *modell* som kan roteras och beskådas från olika riktningar. 4D-CAD är likt 3D-CAD en modell där även tidsperspektivet för de olika detaljerna är inlagd. 4D modellen kan då genom en animation visualisera t.ex. ett husbygge och dess olika skeden och faser för att exempelvis förenkla logistiken kring själva bygget och byggplatsen.

### CAE Computer Aided Engineering

Datorstöd vid tekniskt arbete.

### CAM Computer Aided Manufacturing

Datorstödd tillverkning.

### CPC Colloborative Product Commerce

Ett slags "PDM mellan företag" (se nedan).

### CPD Colloborative Product Design

Gemensam produktdesign och framtagning.

### Data

Uppgifter; Fakta; Material för maskinell eller manuell informationsbehandling. (SAOL, 1986)

### E-commerce

Elektronisk handel där digital teknik används som medium för att överföra data och information mellan organisationer, företag och kunder. Generellt uppdelat i två delar, företag till konsument (B2C, business-to-consumer) och företag till företag (B2B, business-to-business).

### EWP, Engineered Wood Products

Med EWP menas ändamålsenligt tillverkade produkter med i huvudsak trä. Produkterna kan tillverkas av bland annat spån, flisor/stickor, faner, eller solidträ. Exempel är Limträ, massivbjälklag och massivträväggar, ett antal andra kända

exempel är LVL, (Laminated veneer lumber) där relativt tjocka faner belimmas och läggs i samma riktning, Kertobalken® är t.ex. en variant av LVL. PSL, Parallell strand lumber är trästrimlor belimmade med PRF (Phenol Recorcinol Formaldehyde) lim som formas till balkar eller andra produkter. OSB, Oriented Strand Board är en typ av spånskiva där spånen har lagts i en specifik riktning. Quatrolit®, Pelare bestående av fyra mindre bitar limmade med kärnsidan utåt.

### **EWS, Engineered Wood Systems**

Nästa steg är då hela systemet ändamålsenligt utvecklats och kundens/intressenternas krav på själva träproduktens funktion är en del i ett större sammanhang. Massivträbyggande är ett exempel på detta.

### **FEA Finite Element Analysis**

Finit element analys.

### **FEM Finite Element Modeling**

Finit element modellering.

### **Fuzzy logic**

„Suddig logik“ är en kraftfull men enkel problemlösningsmetod som används till styrning och bearbetning av information, som till del liknar hur människan har förmåga att ta precisa beslut utifrån vag, ungefärlig eller oprecis information. Olikt traditionell logik som kräver ett djupt förståande av ett system, exakta ekvationer och precisa numeriska värden kan Fuzzy logic modellera komplexa system med en högre grad av abstraktion utifrån vår kunskap och erfarenhet. Fuzzy logik tillåter också uttryck som, väldigt het, ljus eller mörk röd, lång eller kort tid och kan sedan klassificera dessa till numeriska värden.

### **Information**

Meddelande av upplysning, underrättelse. Enkelriktat flöde. (SAOL, 1986)

### **ISO**

Ett nätverk av nationella standardiseringsinstitut från 148 länder. Dessa arbetar som partners och representanter för internationella organisationer, myndigheter, industri, företag och konsumenter. En brygga eller länk mellan offentlig och privat sektor. (ISO, 2005)

### **Kommunikation**

Förbindelse; kontakt mellan människor, eller maskiner (datorer) där man överför information. Dubbelriktat flöde. (SAOL, 1986)

### **Konfigurator**

En konfigurator är ett program där man matar in de egenskaper man vill ha, eventuellt utifrån ett frågeformulär, och får sedan ut ett eller flera förslag på en möjlig färdigkonfigurerad produkt. En avancerad konfigurator är dessutom interaktiv och

kan ge användaren information om andra alternativ som kanske också kan passa om man tummar lite på mindre viktiga egenskaper. Genom att automatisera processen underlättar man för säljare/tillverkare och framförallt kund att hitta rätt produkt, och eftersom man går igenom alla alternativ i programmet minskar risken att man missar en viktig egenskap eller parameter.

### **Limträ**

Med limträ (se EWP) menas att plankor av konstruktionsvirke limmas till ett element med fiberriktningen parallellt med elementets längdriktning. För L-Märkt limträ gäller att elementet skall bestå av minst 4 lameller samt att varan är kontrollerad och godkänd av Svensk Limträkontroll. Limmade element som har färre än fyra lameller och som för övrigt kontrolleras enligt samma regler som limträ benämns limmat konstruktionsvirke. (Svenskt Limträ, 2005)

### **PDM Product Data Management**

Beskriver information som är kopplad till en produkts framtagning, tillverkning och underhåll/förvaltning.

### **PLM Product Lifecycle Management (Programpaket från IBM & Dassault)**

Ett annat sätt att likt CPC, under samma paraply, integrera funktioner för "product data management" (PDM) med "enterprise resource planning" (ERP), "supply chain management", (SCM) och "computer aided engineering" (CAE), knyta ihop dessa och göra det enklare för informationen att flyta igenom de olika systemen.

### **Stomsystem**

Utgör den konstruktion i byggnaden som i huvudsak bär egentyngd och motverkar de yttre lasternas påverkan.

# 1 Bakgrund

De svenska industrisektorerna trämekanik och bygg uppstod i sin nuvarande form under 1800-talets senare hälft. Innan dess var dessa sektorer integrerade via timmermannsskrået som upphörde under 1800-talets första hälft (Brege et.al., 2004). Sedan slutet av 1800-talet har dessa båda sektorer utvecklats var för sig.

Den trämekaniska sektorns primärproducent, sågverken, har under en lång följd av år fokuserat mot att bli så effektiv som möjligt på att sönderdela timmer till bräder och plank. Trots att den allra största delen (>70%) av alla sågade trävaror förr eller senare går in i segmentet byggande och boende, både i Sverige och i de flesta länder som vi exporterar till är kontakterna och samarbetet med byggindustrin inte särskilt väl utvecklat.

En mycket stor del av de träprodukter som lämnar sågverken utgörs av bulkprodukterna bräder och plank. Kännetecknande för bulkprodukter är att konkurrensen mellan olika producenter till stor del är en ren priskonkurrens. Ett fenomen som då uppstår är att informationsflödet mellan slutförbrukare och producenten försvåras av en eller flera mellanhänder i kedjan mellan producent och slutförbrukare. Processen karakteriseras också av dålig koppling/koordinering mellan material- och informationskedjorna. Producenten har därigenom dålig eller rent av felaktig information om slutförbrukarens verkliga behov men det omvända gäller också nämligen att kunden har dålig information om producentens möjligheter att tillfredsställa olika behov och förväntningar. Denna brist på kommunikation kan vara en av orsakerna till att trä tappat marknadsandelar inom vissa segment.

De stora svenska byggföretagens husbyggnadsverksamhet har under senare år ändrat fokus från byggproduktion till fastighets- och projektutveckling (Brege et.al., 2004). Detta har i sin tur lett till att behovet av att utveckla konkurrenskraftiga prefabricerbara byggsystem i trä aktualiserats för träindustrin. Kraven kan härledas från behovet av att sänka byggkostnaderna och förkorta byggtiderna. Ett ökat användande av prefabricerade byggelement tros kunna medföra lägre byggkostnader och kortare byggtider (Fredriksson, 2003).

Fredriksson (2003) har visat att det finns vissa problemområden när det gäller samverkan mellan trä- och byggindustrin. Fredriksson har identifierat följande huvudsakliga problemområden:

- Kultur och tradition
- Fragmentering och brist på tillit
- Bristen på kunskap och den svaga marknaden
- Avtal

En orsak till problemen kan vara att träindustrin inte har förmått att svara upp mot byggindustrins efterfrågan av prefabricerade byggsystem och produkter. Träindustrin har nämligen inte på samma sätt som andra branscher som t.ex. verkstadsindustrin en uppbyggd struktur av underleverantörer. Man kan säga att specialiseringen är mindre långt driven inom träindustrin än inom verkstadsindustrin. Många menar att träindustrin måste gå mot en struktur mot en ökad mängd av underleverantörer och därmed mot en ökad specialisering inom varje enskilt företag. Ett steg i denna riktning är de träkomponentleverantörer (TKL) som beskrivs i Fredrikssons arbete.

Dessa TKL är en relativt ny företeelse på marknaden. Deras affärsidé är att utgöra en länk mellan sågverken och byggföretagen, en länk som många efterlyst på senare år. Att Fredriksson trots allt identifierat en rad problem i kommunikationerna mellan byggföretag och TKL kan bero på att man ännu inte funnit de lämpliga formerna eller forum för samverkan.

Ett inbyggt problem i relationen mellan byggföretag och träindustri är att den erforderliga mängden trä även för ett stort byggprojekt är mycket liten i för hållande till de flesta sågverks produktionsvolym. Detta gör det svårt att tillfredsställa specifika krav på träprodukternas egenskaper om man inte samlar ihop behoven från en rad byggprojekt. Dessutom skapar de stora byggföretagens hierarkiska struktur en ”lokal/regional marknad” med få incitament att vilja och kunna ställa dessa specificerade krav på träprodukter. Den rådande kulturen och traditionen med vana att erbjudas rätt produkter från de stora betong- och stålleverantörerna tycks också hämma ett effektivt och samordnat kravställande från byggföretagen. Det är här TKL och/eller byggsystemleverantören (BSL) har sin nisch.

Vid export av förädlade byggprodukter/system blir behovet av specialiserade aktörer mellan sågverk och byggare än tydligare. Samtidigt blir svårigheterna och komplexiteten också större. Ett sätt att hitta lösningar, är att titta på andra branschers metoder att lösa liknande problem och se hur dessa överbrygger både stora avstånd och språkliga barriärer.

### **1.1 Industrikonsortiet Massivträ**

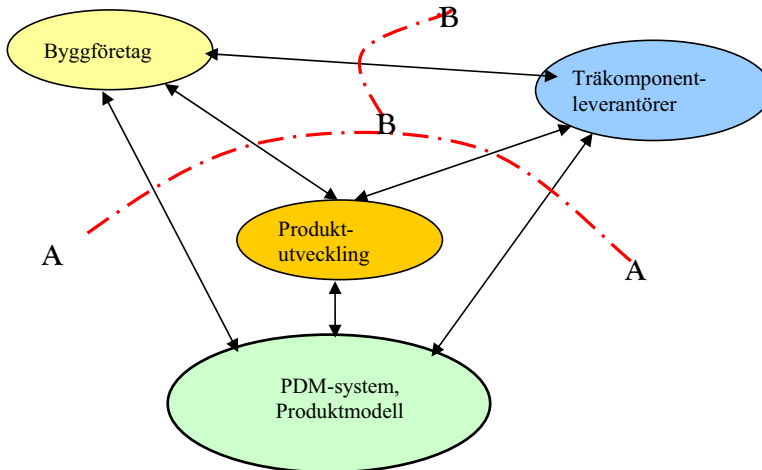
För att i viss mån minska avståndet och råda bot på ovan beskrivna kommunikationsproblem mellan industrisektorerna trämekanik och bygg bildades industrikonsortiet massivträ år 2002. Konsortiet bestod av företagen Holmen Skog, Martinsons Trä, NCC, Norra Skogsägarna, SCA och Scaninge Timber.

Konsortiet har under ett treårigt projekt utvecklat system och komponenter för byggande i massivträ. Resultatet av detta arbete har samlats i Massivträhandboken (Massivträhandboken, 2002).



## 1.2 ConITwood

Parallellt med utvecklingsprojektet ”Massivträ” har forskningsprojektet ConITwood löpt. ConITwood består i sin tur av tre delprojekt. I Figur 1.1 visas hur de tre delprojekten hänger samman.



Figur 1.1: ConITwoods struktur

Följande tre delprojekt ingår i ConITwood:

1. **Samverkan** fokuseras på gränssnittet B och samverkan mellan de olika aktörerna. Doktorandprojekt, gemensamt mellan avdelningarna för Träbyggnad och Produktionsledning, Luleå tekniska universitet.
2. **Kommunikation** rör främst utvecklingen av kommunikationen mellan parterna, gränssnitt A. Industridoktorandprojekt 1, avdelningen för Träbyggnad, Luleå tekniska universitet.
3. **Integrerad produktutveckling** arbetar också mot gränssnittet A genom att utveckla träbaserade byggprodukter och byggsystem. Industridoktorandprojekt 2, Luleå tekniska universitet, avdelningen för Träteknologi, Skellefteå.

Det övergripande målet för ConITwood är att ta fram kunskapsbaserade förutsättningar för en gemensam produkt- och processutveckling mellan byggföretag och trämekaniska företag.

Medlemmarna i industrikonsortiet var tidigt på det klara med att det borde finnas mycket att vinna i effektivitet genom en förbättrad kommunikation och samverkan mellan olika parter i förädlingskedjan. I detta sammanhang uppkom frågan om vilken potential moderna IT-baserade ingenjörswerktyg kan ha för att förenkla kommunikation och samverkan. Denna uppsats, som är en avrapportering av delprojekt 3 i ConITwood, är fokuserad mot denna frågeställning.

### **1.3 Forskningsfrågor**

Efter det inledande arbetet formulerades tre forskningsfrågor att finna svar på.

- Vilka är möjligheterna för och hindren till en allmän användning av produktmodeller i träbyggvärdekedjan?
- Vilka är nyckelfrågorna vid användning av generella tekniska verktyg (CAD/FEM program) applicerat på materialet Trä?
- Vad behövs det för indata för att det skall fungera smidigt för en "vanlig" konstruktör och vilka är de kritiska parametrarna med hänsyn till gällande krav?

### **1.4 Omfattning och begränsningar**

I avhandlingen är det endast redan av massivträkonsortiet byggda och av AB Trätek testade väggar som modellerats med avseende på böjhållfasthet. Avhandlingen berör alltså ej dimensionering för brand eller ljud, ej heller väggarnas beteende vid fuktpåkänningar.

Jag har inte haft möjlighet att delta vid tillverkningen eller provningen av de olika produkterna utan endast talat med tillverkaren och personalen vid laboratoriet. Resultat och dokumentation från provningar har hämtats från laboratoriets provningsrapporter.

Inga ändringar eller tillägg mer än årliga uppdateringar av de utvalda programvarorna har gjorts under projektiden.

I och med att de deltagande företagen har stått inför frågan om produktmodellers vara eller icke vara har man nu genom detta arbete sökt kartlägga läget för att applicera metoden på massivträprodukter. Ambitionen fanns att utföra ett praktiskt försök med en produktmodell men de deltagande företagens IT-användning hade ännu inte nått upp till den nivå som krävdes för att presentera ett underlag för en produktmodell.

## 2 Nulägesbeskrivning

Vi lever idag i en värld där gränser mellan länder och kulturer öppnas och avstånd mellan företag och branscher minskar dag för dag. Behovet av att kunna kommunicera och förstå varandra ökar i samma takt som världen ”krymper”. Interkulturell kommunikation t.ex. mellan branscher är därför en förutsättning för samarbete och samförstånd. För att kunna förstå andra branscher eller företagskulturer måste man först lära känna den egna kulturens verklighetsuppfattning, attityder, normer, åsikter och beteende. För det är genom sina egna kulturella värderingar och handlingar man värderar andras karaktärsdrag och beteende.

Att respektera/visa respekt och vara lyhörd inför den kultur man stöter på är av stor betydelse för att få ett meningsfullt utbyte av kommunikationen och minska eventuella missförstånd.

Att ha kunskap och medvetenhet om den främmande kulturens seder och bruk hjälper också till att reducera eller i bästa fall eliminera de missförstånd som kan dyka upp. Det finns flera olika sätt att minska dessa missförstånd, ett sätt är att undanröja ett av de största hindren i interkulturell kommunikation, språket. Genom att ha en tolk med vid affärssammanhang slipper man risken att kommunikationen blir missriktad och tidskrävande. Ett annat sätt är att direkt konfronteras med den okända kulturen och då vara medveten, förstående och observant på skillnader i handlande och värderingar.

Kommunikation i byggandet har alltid varit och är av stor betydelse. Att överföra information eller kunskaper har genom årtusenden gjorts med tal, skrift eller genom visualisering med hjälp av ritningar eller skisser. Idag har vi ytterligare ännu outnyttjade möjligheter med IT där bland annat datorer, faxar, mobiltelefoner med uppkoppling via fasta eller trådlösa nätverk ingår.

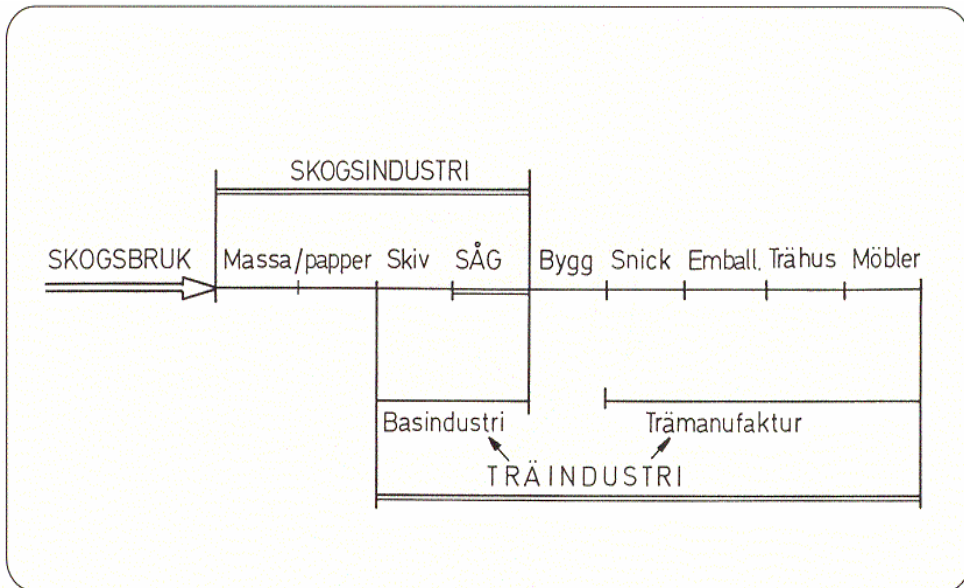
Vid kommunikation i träbyggprocessen med moderna IT-verktyg möts tre branscher med helt olika kulturer, nämligen:

- **Trä**
- **Bygg**
- **IT**

Den kvalitativa forskningsmetodik jag valt och som beskrivs i ett senare kapitel utgår från ett synsätt på omvärlden som lägger stor vikt på historiska förlopp och kulturella fenomen. Nedan ges därför en förenklad och förkortad bild av de tre branschernas kultur och historia, Förhoppningen är att läsaren härigenom skall få större förståelse för olikheter i tankesätt och tidsperspektiv.

## 2.1 Träindustrin

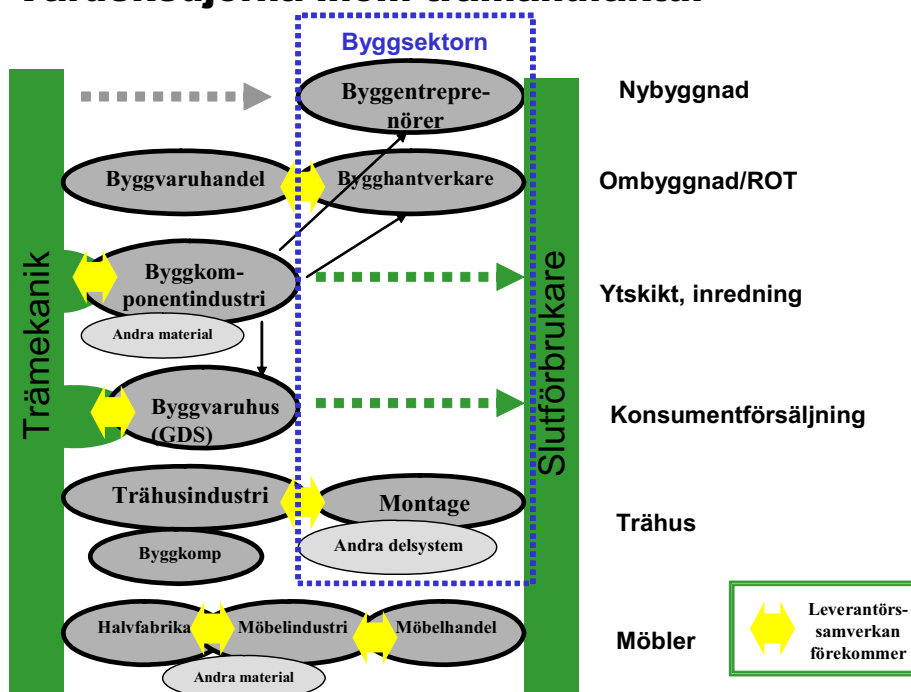
I figur 2.1 visas den traditionella bilden av hur skogsnäringens aktörer hänger ihop. Av bilden kan man lätt få en uppfattning att skogsnäringens aktörer kan leva isolerat utan kontakt med den omgivande marknaden. Även om de flesta aktörerna är medvetna om kundernas och marknadens betydelse så finns det en stor potential att förbättra samverkan mellan olika aktörer inom sektorn och med olika kundkategorier (Brege et.al., 2004). Inte minst pekar man på behovet av en ökad samverkan mellan den trämekaniska sektorn och byggsektorn. I begreppet trämekanisk sektor innefattas i detta fall sågverk och sågverkens vidareförädling.



Figur 2.1: Definition av olika Industrigrenar.

Brege et.al. (2004) har beskrivit kopplingen mellan träindustri och byggsektorn enligt Figur 2.2. Även om figuren är en förenkling av verkligheten så är det tydligt att hela systemet är relativt komplext. Till exempel rör det sig inte bara om en värdekedja utan man kan särskilja flera delvärdekedjor. Man konstaterar att i flera av delvärdekedjorna saknas samverkan mellan parterna. Kontaktpunkten mellan olika parter blir bara en avlämningspunkt för standardiserade produkter.

## Värdekedjorna inom trämanufaktur



Figur 2.2: Värdekedjorna inom trämanufaktur och glappet mellan innovationssystemen trämekanik och husbyggnad (Brege et al. 2004).

Av Figur 2.2 framgår att trämaterialen i byggvärdekedjan går från sågverken via byggvaruhandeln och/eller byggkomponentindustrin till byggarna. I princip går kravspecifikationer, beställningar och övrig information i motsatt riktning.

Som tidigare nämnts är ett inbyggt problem i relationen mellan byggföretag och träindustri att den erforderliga mängden trä även för ett stort byggprojekt är mycket liten i förhållande till de flesta sågverks produktionsvolym. Ett stort sågverk producerar ca 1 000 m<sup>3</sup>/dag fördelat på i många fall mer än 1 000 produkter (en produkt = en unik kombination av dimension och kvalitet) medan man till ett enfamiljshus i trä behöver ca 20 m<sup>3</sup>. I detta fall har specifika krav från byggindustrin svårt att vinna gehör på sågverken även om man har en byggvaruhandlare som samlar upp behov från ett antal byggprojekt.

Ett annat exempel är en medelstor fönsterfabrik som producerar 40 000 fönster per år med en träförbrukning på ca 4000 m<sup>3</sup> fördelat på några få dimensioner. I detta fall har behoven från många byggprojekt samlats ihop vilket medför att den erforderliga

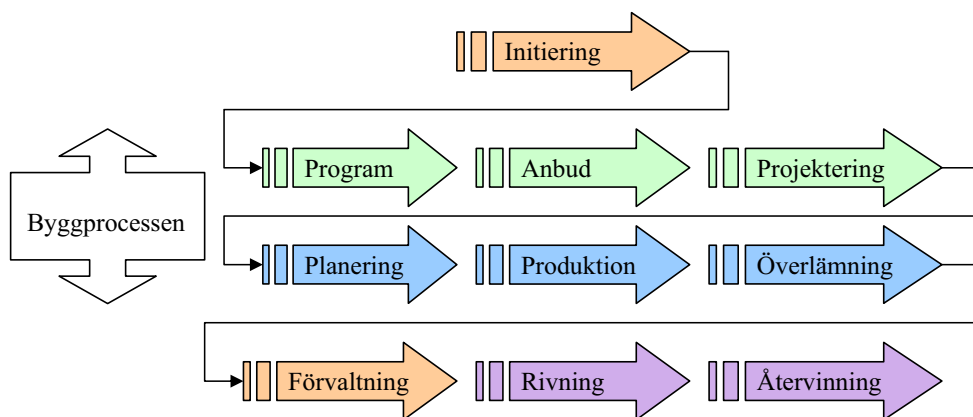
mängden trä är så pass stor att det är intressant även för stora sågverk. Det gör det också lättare för kunden att få gehör för speciella krav.

Fönsterfabriken agerar i gapet mellan byggindustri och träindustrins primärproducent, sågverken. I detta gap har på senare tid även en del nya aktörer börjat uppträda. Vissa tillverkar byggkomponenter som väggblock, bjälklag mm. medan andra gått ett steg längre och tillverkar hela byggsystem och husmoduler. Denna utveckling med ett system av underleverantörer medför att byggvärdekedjan alltmer börjar likna andra värdekedjor som t.ex. de i bilindustrin. Detta implicerar i sin tur att möjligheterna till användning av moderna ingenjörswerktyg och kommunikationsmetoder börjar vara för handen även i byggvärdekedjan. Frågan är om de olika sektorerna och de enskilda aktörerna är mogna för denna utveckling och om de generella verktygen direkt kan appliceras på byggvärdekedjan.

Ett hinder för denna utveckling kan vara bristande kunskap om trä inom byggsektorn och bristande kunskap om byggfrågor inom träsektorn. Von Platen (2004) menar t.ex. att dagens byggnadsingenjörer har mycket bristfälliga kunskaper om träbyggnad.

## 2.2 Byggprocessen och dess aktörer

Byggprocessen brukar traditionellt delas upp i ett antal olika skeden se Figur 2.3. Under dessa ställer aktörerna olika krav, utformar, kontrollerar och utför. Aktörernas olika roller och inflytande är starkt beroende på vilket skede processen befinner sig i.



Figur 2.3: Byggprocessens olika skeden, här också med händelser före och efter.

Byggherren söker möjligheten att bygga. Förutsättningarna och marknaden ser olika ut men man utgår från någon typ av förstudie som ger byggets funktion, hyresnivå etc. Eftersom många byggen innan byggstart förutsätter att hyresgästen är kontrakterad har brukaren sannolikt redan i det här tidiga skedet mycket att tillföra eller önska.

Projektledaren för bygget kan ha som uppgift att tillsammans med beställaren ta fram ett program och en målformulering där det klargörs vad byggnaden skall användas till, dess innehåll och funktionalitet.

Arkitekten/Konstruktören omvandlar sedan uppdragsgivarens beställning från en volym eller yta till en planlösning, struktur och rumsindelning. Idén omvandlas så småningom till en teknisk beskrivning/dokumentation genom denna kommunikationsprocess. Det som startat med en Idé hos beställaren blir i Arkitektens/Konstruktörens skissande en växelverkan mellan penna, papper, hand, öga och hjärna. Det skapas en grund till kommunikation, en samordning genom visualisering.

Staten styr med Lagar och förordningar, Plan och Bygglagen (PBL) Byggnadsverkslagen (BVL) Miljöbalken och Arbetsmiljölagen. Kommunala förutsättningar och byggnadens funktion ger också viktiga ingångsvärden. Branschen själv, styr med rekommendationer t ex. AMA-systemet, ”Allmän material och arbetsbeskrivning” som sedan 1950 har en status som kunskapsdokument och standard genom att dokumentera och rekommendera ”god praxis” för byggkonstruktioner.

Konstruktörens förutsättningar fås av byggnadens funktion utifrån geometri, laster, beställarkrav, normer och utformning. Ekonomi och driftskostnader har naturligtvis också en betydande roll. Arbetsprocessen är iterativ tillsammans med arkitekt och projektets medlemmar och resulterar oftast i någon form av CAD eller CAAD ritning i 2D eller 3D. 4D där även tidsperspektivet läggs in i ritningen förekommer än så länge i mindre omfattning.

Entreprenörens förutsättningar är beroende av om det är frågan om en totalentreprenad där en entreprenör både projekterar och uppför huset. Beställaren tillhandahåller då ett underlag som är relativt odetaljerat och ofta bara i form av funktionskrav, istället för preciserade och bestämda lösningar. Det kan också vara en generalentreprenad med färdiga handlingar med därav följande utförandeentreprenad. Indata för entreprenaden är då de handlingar som beställare och kanske arkitekt redan gjort med detaljerade planer och materialval.

Det är av stor vikt att all nödvändig information finns tillgänglig för entreprenören, detta för att kunna göra en korrekt offert eller anbud. Tidplan, budget och inköp skall därefter arbetas fram ur denna information. Det kan även finnas underentreprenörer/konsulter inblandade som kan ha speciella krav/behov av information, både vad gäller tidpunkt och innehåll.

Förvaltaren som till sist övertar ansvaret för byggnaden önskar en lättfattlig, korrekt, strukturerad och detaljerad beskrivning av byggnaden. Informationen i dokumentationen bör vara lättillgänglig under byggnadens livslängd och så utformad

att spårbarhet på enskilda detaljer är god samt att förändringar lätt kan göras på delar eller hela byggnadens dokumentation med bibehållen historik. När byggnaden så småningom rivs kan informationen utnyttjas för återvinning och källsortering.

Byggsektorn i Sverige är i omvandling och påverkas även starkt av omvärlden där globala miljö- och resursproblem får allt större betydelse. I Sverige finns Byggsektorns Kretsloppsråd som utarbetar riktlinjer för hur byggbranschen skall kunna uppnå de mål som rådet formulerat i samråd med den statliga Kretsloppsdelegationen. Utgångsläget är miljöansvar och minimalt resursutnyttjande. Lagstiftningen kring kemikalier är idag gemensam inom EU och förslaget till EU:s nya kemikalielagstiftning kallas REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals). REACH kommer att innebära nya krav på att testa och riskbedöma kemiska ämnen på marknaden, därtill även utökade krav på information och dokumentation kring dessa ämnen. Inför det framtida arbetet med att för myndigheter och kunder ta fram och redovisa byggprojektets miljöbelastning, miljöinformation och dokumentation krävs det att bland annat att mängden av de olika ingående komponenterna finns tillgänglig. Används 3D-CAD underlättas arbetet väsentligt då dessa materialvolymerna redan finns definierade i programmet. Om sedan produktmodeller används kan då också materialdata relativt lätt exporteras till andra verktyg för vidare bearbetning eller analys.

### **2.3 Datorbaserade ingenjörsvraktyg**

IT-utvecklingen

"Jag tror det finns en världsmarknad för kanske fem datorer".

Thomas Watson, Ordförande IBM, 1943.

"Det finns ingen anledning för en privatperson att ha en hemdator".

Kenneth Olsen VD och grundare av Digital Equipment, 1977.

Det finns en logisk förklaring varför utsagor som ovanstående förekommer i tidningar och andra medier. Man glömmar ofta det faktum att den ständiga utvecklingen av mindre, snabbare och billigare teknik i kombination med individens (eller den individen arbetar för) behov att bli informerad, spara tid, bli underhållen eller få andra personliga fördelar leder till marknader för nya produkter med nya funktioner som är svåra att förutspå även om man själv är i en framåt och visionär bransch.

De kanske viktigaste händelserna i IT-historien var i början hårdvarumässiga. Först förbättrades datorns prestanda och dess storlek minskades genom att gå från vakuumpipor via transistorer på 1950-talet till IC-kretsar (1961) som används idag. Förbättrad och förenklad hantering av filer och applikationer kunde sedan göras genom utveckling av programminne och arbetsminne i form av RAM-minne (1970) och hårddisk (1957). Andra viktiga delar som vi idag tar för självklara var bildskärmen (1950-talet) och möjligheten att via bildskärmen och ett pekdon interaktivt styra datorn (1963).



Datorer var från början väldigt dyra och komplicerade men 1981 då IBM lanserade sin PC (Personal Computer) startades en ny era genom att ge marknaden en enkel och i sammanhanget funktionell dator som relativt enkelt kunde programmeras och därmed utföra generella eller specifika uppgifter (Intel, IBM, 2005).

Utvecklingen av mjukvara var från början maskinspecifik då hårdvaran i princip byggdes för en enda uppgift. Men i och med att kapaciteten och hastigheten i hårdvaran ökade kunde så småningom operativsystemet och applikationerna ”slösa” CPU-tid på användarvänlighet.

1984 introducerade företaget Apple, Macintosh™, ett litet och i sammanhanget billigt datorsystem med ett helt grafiskt gränssnitt och ett styrdon i form av en ”datormus”. Användaren kunde här utan kännedom om datorns operativsystem utföra uppgifter genom att se på bilder och klicka på ikoner eller i menyer och därigenom välja olika kommandon. Datorn eller hårdvaran var precis som IBM’s PC inte särskilt snabb men Apple’s grundare Steve Jobs menade att mjukvaran eller programmen var det viktigaste när det gällde att få fler användare och därmed kunder (Apple, 2005).

Idag är tekniken eller hårdvaran i praktiken något sekundärt då datorernas mjukvara i form av operativsystem och applikationer är användarens grafiska interface eller gränssnitt mot hårdvaran. Det som istället lyfts fram och betonas är den användarvänlighet och funktion som mjukvaran ger och genom hårdvarans kontinuerligt förbättrade prestanda får också programföretagen än mer kapacitet att utnyttja för att göra sina applikationer mer förfinade, generella och anpassningsbara.

IT-branschen kan idag grovt delas in i tre sektorer med olika mognadsgrad (Celander, 2003)

- **Datorer**
- **Kommunikation**
- **Information**

Datorer som idag omfattar både hård och viss mjukvara (däribland operativsystemet) är idag en mogen del med standardiserade produkter som säljs i mycket stora volymer.

Kommunikationen, det vill säga TCP/IP protokollet som genom Internet blivit en de facto standard och som betraktas som relativt mogen möjliggör att vi enkelt kan kommunicera digitalt inom och utom den egna organisationen.

Informationen, en kostnadskritisk del där mognadsgraden varierar starkt mellan branscher och enskilda aktörer. Uppgiften är att framgent bland annat komma överens om mer sofistikerade informationsformer som förenklar data och informationsutbyte.

Det är helt klart att utvecklingen på IT-området i större eller mindre omfattning har förändrat arbetsmetoder och roller inom alla industrisektorer. Bilindustrin (Mekanisk) och elektronikindustrin är t.ex. två relativt unga industrigrenar som idag flitigt använder IT med bland annat 3D-CAD, produktionssimulering och produktmodeller som ett naturligt och absolut nödvändigt verktyg för att bibehålla och förbättra sin konkurrenskraft. Förhållningssättet till IT och dess flora av verktyg är däremot för byggvärdekedjans olika aktörer mer divergerad, allt ifrån avvaktande, till aktivt pådrivande, vilket diskuteras i ett senare kapitel.

Nämnda branscher kan genom välutvecklat internt och externt IT-samarbete i de ofta multinationella företagen driva utveckling, provning och kontroll, samt tillverkning på helt olika håll. Det kan också vara så att slutproduktens enskilda komponenter utvecklas och tillverkas hos olika underleverantörer för att sedan slutmonteras eller konfigureras för det land eller område den skall användas i.

Den IT-baserade informationen ger också ytterligare fördelar och möjligheter. Samarbetsavtal och datautbyte mellan ”moderföretaget” och fristående aktörer skapar möjligheter att utveckla nischade eller rent kundspecifika tillbehör eller funktioner på ännu ej tillverkade produkter, detta samtidigt som ”moderföretaget” helt och hållet kan fokusera på sin egen kärnverksamhet eller huvudprodukt.

Det finns dock några väsentliga skillnader som måste tas hänsyn till innan vi kan börja överföra kunskaper och erfarenheter till byggvärdekedjans olika aktörer, den kanske största skillnaden mellan ovanstående industrier och trä- byggindustrin är seriestorlek och de inblandade aktörernas IT-användning och IT-mognad. Byggproduktion är också speciell så till vida att den alltid är unik med avseende på byggplats och omgivning. Genom att den färdigställs på plats måste infrastrukturen ordnas och lokala resurser därmed utnyttjas i högre grad. Den temporära projektorganisationen som i och för sig inte är unik gör att man tappar en del av smidigheten och förståelsen som uppstår vid långvariga relationer. Man är också i högre grad utsatt för väder och vind vilket sammantaget skapar ett stort mått av osäkerhet (Cigén, 2003).

För att på bästa sätt effektivisera byggvärdekedjan måste vi ställa frågan om det fortsättningsvis måste vara så. Kan vi kanske genom en förändring i tanke- eller arbetssätt dra nytta av andra branschens erfarenheter samt den pågående och fortsatta utvecklingen inom IT-området. Några väsentliga frågor måste besvaras, eller i alla fall beaktas:

Vilka verktyg finns?

Vilka verktyg behövs och kan användas?

Vilka verktyg saknas eller kommer att behövas?

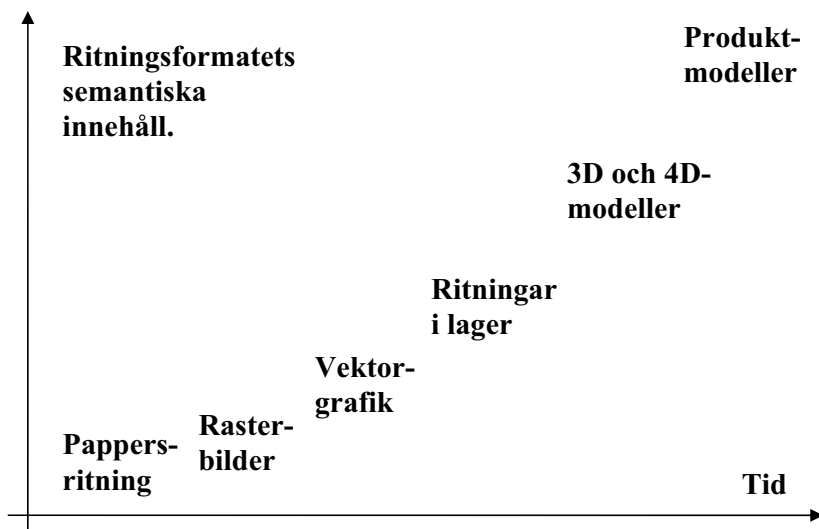
Vilka utvecklingsinsatser behövs?

Vilka utbildningsinsatser behövs?

Avhandlingen gör inget anspråk att svara på alla dessa frågor men de vanligast förekommande IT verktygen riktade mot produkter som används i nämnda branscher är någon form av 3D-CAD och FEM och funktionen hos dessa beskrivs nedan.

## CAD, Computer Aided Design

Designinformation har sedan 1400-talet kommunicerats via ritningar (Wikforss, 1999). Ritningen eller "bildspråket" är utvecklat för en seende människas tolkning eller rättare sagt, det krävs en tränad och utbildad människa för att förstå varje enskild detalj. Människans syn (bildbehandling) i kombination med förmågan att lära, associera och förstå symbolspråk överstiger vida kapaciteten hos varje känd dator (Russel & Norvig, 1995). Ritningen eller bilden i sig innehåller ju inte mer än olikfärgade linjer organiserade i ett speciellt mönster. För förståelse kräver dagens datorer att informationen uttrycks i ett rikare semantiskt format se Figur 2.4.



Figur 2.4: Ritningsformatets semantiska innehåll i tiden (Noack, 2001).

Utvecklingen av CAD-tekniken och möjligheten att bygga en digital modell i 2 eller 3 dimensioner startade i USA i slutet av 50-talet. Under det kommande decenniet var det de stora flygplanstillverkarna i USA som var tongivande i utvecklingen. På 70-talet blev det möjligt att köpa CAD-system (Hård och mjukvara) men de var förhållandevis dyra och med höga driftskostnader och endast de stora bolagen hade råd. Under de senaste åren har dock priserna fallit både på själva datorerna och CAD-programmen och idag finns det till och med gratisprogram med fundamentala CAD-funktioner i 3D.

Man kan i 3D CAD modellera på olika sätt, en variant är att man gör en parametrisering av 3D-modellen. Parametrisk modellering innebär att man på en

befintlig modell genom att ändra de parametriska värdena skapar nya konfigurationer av en befintlig part eller sammanställning. Detta sker direkt via ett integrerat eller externt kalkylblad (ex. Excelblad) eller via ett program som styr 3D CAD-programmet utifrån. Exempel på program som använder denna typ av modellering är Pro Engineer från PTC, SolidWorks från Dassault Systems och Inventor från Autodesk. Vid modelleringen skapas regler och villkor i form av kopplingar, relationer och referenser som bestämmer hur dimensioner, positioner, antal förekomster, etc. hos en feature (del av en detalj), part (detalj) eller en hel assembly (sammanställning) ändras. Parameterstyrningen bygger sedan på historien, eller den kronologiska ordningen av input till modellen och användaren måste därför ta hänsyn till eller planera hur framtida förändringar skall ske. Hur sedan parameterförändringen slår igenom i modellen är då förutbestämd i en ”Plan för framtida modellförändringar” eller på engelska ”Design Intent”.

Det starka historieberoendet gör att när man senare vill förändra en ”feature” eller ”part” ser man bara den ”feature” man förändrar och det som hänt innan denna i historien. Parametriska modellerare bygger också på något som kallas ”Parent - Child” förhållanden vilket exempelvis innebär att En förändring på ”föräldern” slår även igenom på ”barnen” och om man duplicerar en part ett antal gånger och sedan raderar ”föräldern” försvinner även ”barnen”. Nackdelen med denna typ av modellering blir att om den parametriska konstruktionen i 3D blir komplicerad med många parter kommer det till slut att vara svårt att hålla reda på alla relationer och regler samt förstå vilken parameter som påverkar vad. Vid parametrisk modellering är det alltså rekommenderat att först skapa en plan över hur modellerna ska skapas så att det passar en parameterstyrning innan man skapar geometrierna efter dessa regler. Om man inte kan eller har möjlighet att förutsäga framtida förändringar kan det dock vara svårt att fastställa en plan som är helt framtidssäker för förändringar.

Boolsk modellering är ett alternativ sätt och finns i exempelvis AutoCAD 3D och Cadkey Solids. Där finns ingen historia med i bilden. Man kan heller inte lätt ändra position eller dimension på en del av part eller part utan måste ibland ta bort, och sedan skapa nytt. Ett exempel är t.ex. om man har ett hål och vill ändra på position måste hålet fyllas igen och nytt hål skapas på nya positionen.

Dynamisk modellering är också helt historiefritt och används i programmet Onespace Designer Modeling från CoCreate. Fördelen är att man kan ändra vad som helst när som helst. Men en nackdel är just bristen på historierelaterade kommandon.

Ett fjärde variant är ”Instant modellering” och används av programmet IronCAD. Där finns historien, men inte med det starka historieberoendet som hos parametriska modellerare utan allt kan refereras till parter, features eller assemblies skapade när som helst i tiden. Parent Child förhållandet finns likt programmet Onespace Designer Modeling inte heller utan duplikat eller kopior är helt separerade från varandra

När man ska börja arbeta i 3D är det av väsentlig betydelse att förstå skillnaden mellan att modellera med en parametrisk eller inte parametrisk metod. Icke-parametrisk modellering passar bättre där nya produkter ska utvecklas och där det är svårt eller rent av omöjligt att förutsäga vilka regler eller kopplingar som är lämpliga. Parametrisk modellering passar bättre för standardprodukter som enkelt skall kunna kontrolleras via ett kalkylblad eller kanske en konfigurator där alla förändringar är förberedda och inbyggda i modellen. Nya parametrar knappas lätt in och 3D modellen uppdateras sedan automatiskt.

## Dimensionering

Förmågan att på något sätt förutsäga hållfasthet och mekaniska egenskaper vid yttre påverkan är och har alltid varit nödvändigt och en förutsättning vid byggande. Olika metoder har kompletterat eller helt ersatt varandra, allt ifrån trial and error, erfarenhet, handräkning till rena beräkningsmodeller i FEM.

Ett allmänt känt och vedertaget verktyg sedan 1989 är metoden med partialkoefficienter som man normalt använder i Byggbranschen. Det är en förenklad verifikationsmetod som kan användas vid normal dimensionering, den har en indirekt sannolikhetsteoretisk bakgrund och går ut på att lasteffekten skall vara lika eller mindre än bärförmågan. Osäkerheterna för både last och bärförmåga beskrivs statistiskt till exempelvis i form av varianser hos ingående variabler. Metoden tar alltså hänsyn till materialets eller produkters varierande egenskaper. Fördelen med metoden är att den är materialneutral och att den är förhållandevis enkel att använda men förutsätter dock att man kan sätta nivå på risken eller sannolikheten att en skada ska inträffa.

När metoden lanserades skrev man ”Partialkoefficientmetoden är inte någon ny och komplicerad beräkningsmetod, i stil med Finita Element Metoden”. Idag är situationen en annan då programmen/verktygen har blivit mer användarvänliga genom mer utvecklade gränssnitt (se nedan).

Vid dimensionering av byggnader i framtiden kommer ”Eurocode: Basis of Structural Design” eller Europeisk standard EN 1995-1-1 som den egentligen kallas, att betyda mycket för svenskt byggande och svenska byggprodukter i utlandet. Eurocode där del nummer 5 avser byggnationer i trä bygger på metoden med partialkoefficienter och beskriver hur man skall beräkna lasters inverkan, materialegenskaper och naturens inverkan på byggnaden under brukandetiden kopplat till byggnadens användningsområde. Detta är egentligen inte något nytt utan ett dokument som ger konstruktörer över hela Europa ett gemensamt sätt att dimensionera byggnader genom att alla får likadana koefficienter eller faktorer. EN 1995-1-1 har status som nationell standard från och med maj 2005 och nationella standarder som står i konflikt med denna kommer att dras tillbaka senast mars 2010 (SIS, 2005).

Det vi idag kallar Finit Element analys (FEA) eller Finit Element Modellering (FEM) utvecklades 1943 av R. Courant, som utnyttjade Ritz’ metod för numerisk analys och

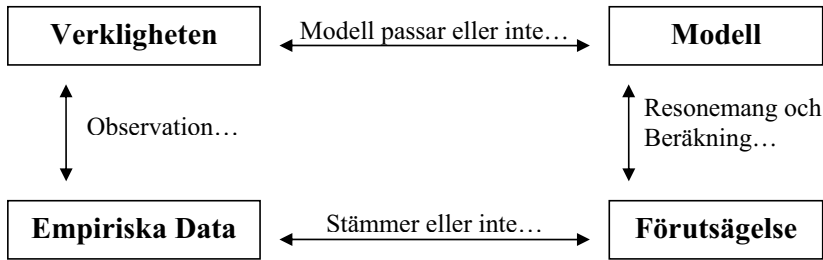
minimering av variationsproblem för att få approximativa lösningar för vibrerande system. En artikel publicerades senare av Turner et.al. (1956) som lanserade en bredare definition av begreppet numerisk analys. Artikeln fokuserade på "Styvhet och utböjning av komplexa strukturer" och Clough, en av artikelns författare myntade senare begreppet "Finit Element Metod".

Under tidigt 70-tal var FEM som hjälpmedel för beräkning av deformationer begränsat till dyra stordatorsystem som ägdes av företag inom flyg, bil, försvar, eller kärnkraftsindustri. Men på grund av den snabba utvecklingen i prestanda och sjunkande prisnivå på hårdvara (Datorer) och mjukvara (Program/verktyg) har FEM idag utvecklats till ett verktyg med stor bredd på applikationer och användningsområden.

FEM består av en "datoriserad" diskretiserad modell (Mesh) eller avbildning. Modellen är ofta genererad i 3D-CAD då de flesta CAD programvaror idag innehåller FEM-moduler eller kan relativt enkelt kopplas till FEM programvaror. Modellen av ett verkligt system eller komponenten belastas sedan i någon form och analyseras för ett specifikt resultat se Figur 2.5. Belastningen kan vara en kraft men likaväl en temperaturdifferens eller skillnad i fuktkvot.

FEM används för nyutveckling, förbättring eller förändring av en befintlig produkt. Metoden gör det möjligt att innan produktion förutsäga prestanda och verifiera en föreslagen design som konstruerats att möta kundens krav eller önskemål. Metoden kan också användas för att se hur olika miljöer påverkar produkten eller systemet och i händelse av haverier kan FEA också användas för att hitta var förstärkningar, förändringar i design eller materialval skall göras.

Det måste här poängteras att det väsentliga kravet på en FEM-modell inte är att den beskriver verkligheten så nära som möjligt, utan att den vid tillämpning ger resultat och möjlighet till tolkningar som är relevanta för den problemställning som den är avsedd att användas för. En alltför komplicerad modell är inte eftersträvansvärd då den kräver mera detaljerade indata som i praktiken ofta inte är tillgängliga eller möjliga att ta fram. En mer komplicerad modell blir också beräkningsmässigt tyngre och kräver mer datorkraft eller tid för beräkning.



Figur 2.5: Förutsägelser från modellen jämförs med experimentella data för att värdera förklaringsmodellen.

Generellt kan man säga att det finns två typer av FEA som används industriellt, 2D modellering och 3D modellering. 2D modellering bibehåller enkelheten och tillåter analys på relativt enkla (Långsamma) datorer. 3D modellering ger mer exakta resultat men komplexiteten hos modellen gör att kraven på hårdvaran ökar och i praktiken fungerar det effektivt endast på mycket snabba persondatorer. Begreppet ”mycket snabb” är naturligtvis relativt, och beroende av operativsystem samt datorns alla olika komponenter såsom Processor, Minne, Hårddisk, Grafikkort och moderkortets arkitektur. Begreppet ”En kedja är inte starkare än sin svagaste länk” gäller och en liten förändring i ett system kan göra väsentlig skillnad i prestanda. Generellt kan sägas att vid FEM belastas Processor och minnen mest och prestanda på dessa är direkt kopplat till beräkningstid, medans CAD mer belastar grafikortets egen processor och minnen.

Modellerna kan fungera linjärt vilket ofta är fallet vid små förändringar gentemot initialläget eller icke linjärt vid stora förändringar eller till exempel där material plastiseras. Komplexiteten i den matematiska modellen ökar avsevärt i det senare fallet och i vissa fall är det möjligt att analysera modellen ända till, och efter kollaps.

Finit Element Modellering kan i 5 enkla steg förklaras på följande sätt:

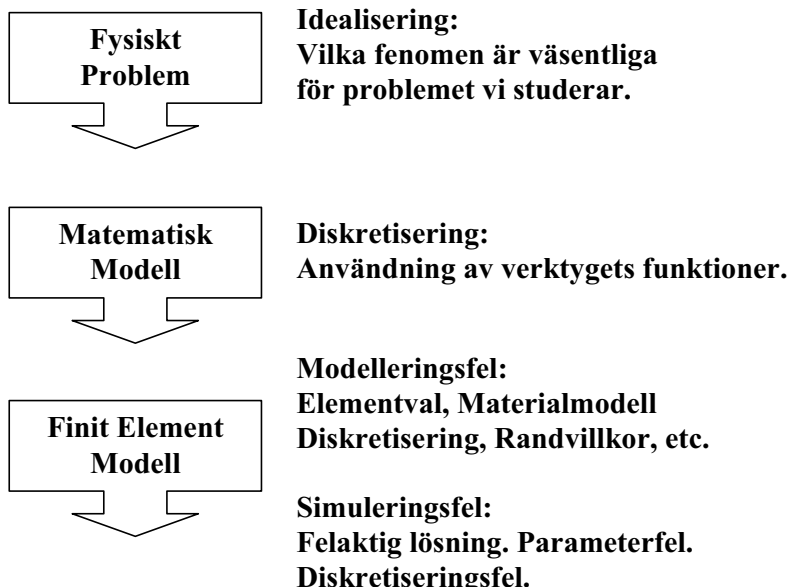
- Definiera materialegenskaper för komponenterna i modellen.
- Applicera verklighetsnära laster och randvillkor.
- Skapa ett diskretiseringsnät (Mesh) av geometrin med Noder/Nodpunkter som förbinds med Nodelement. Se exempel i figur 2.7.
- Starta analysen.
- Utvärdera resultatet. Se exempel i figur 2.8.

Verkligheten är ofta mer komplicerad än så och fel uppstår när man utgår från ett kanske geometriskt enkelt men fysiskt komplicerat problem som först förenklas till

en matematisk modell som sedan i sin tur översätts till en finit element modell se Figur 2.5.

En medvetenhet om modellens begränsningar och kännedom om de ingående materialens egenskaper och beteenden är mycket viktigt vid användningen av FEM som metod för utvärdering av produkter innan produktion.

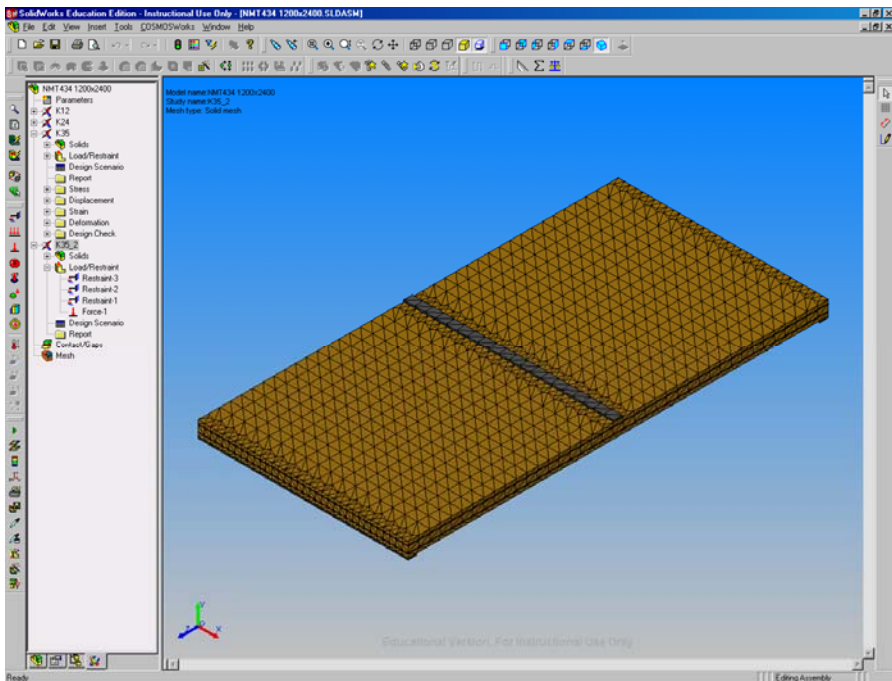
Förmågan att eliminera eller minimera felkällor vid användandet av FEM är alltså av största vikt för att få användbara resultat. Vilka av de olika felkällorna som räknas upp i Figur 2.6 som inverkar mest i vårt fall kommer vi till senare.



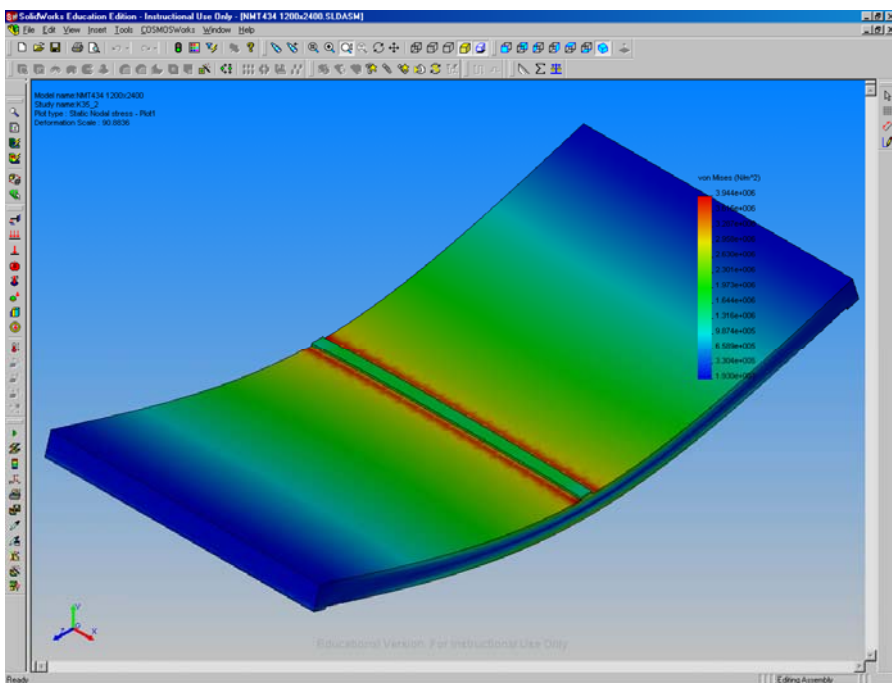
Figur 2.6: Vad som kan orsaka felaktiga resultat vid FEM-analys. (Fritt tolkat efter Lindgren, 2004)

Verktyget FEM med dess moderna visuella användargränssnitt är ett bra hjälpmedel till att utvärdera, tolka och kommunicera resultaten. När beräkningen väl är gjord i FEM-programmet är det enkelt att till exempel grafiskt i form av färgbilder och animeringar visa resultaten av deformationer och spänningskoncentrationer (Figur 2.8). Genom denna möjlighet att komplettera tabeller med grafik är det därmed också väsentligt enklare att tillsammans med andra aktörer med olika erfarenheter öka förståelse, gemensamt utvärdera och diskutera kring resultaten från de olika beräkningarna.





Figur 2.7: Mesh med nodpunkter och nodelement för spikad väggtyp 434.



Figur 2.8: Deformationen för vägg 434 visas starkt förstörd och spänningskoncentrationer i varje plan visas grafiskt m h a färgskala.

## 2.4 Kommunikation och Informationsutbyte

Det förekommer allt oftare att kommunikationen eller informationsutbytet görs genom att CAD-ritningar överförs eller hämtas via Internet. Den ena aktörens output blir nästas input. Kravet är här att båda aktörer kan hantera CAD-ritningens format och version på ett tillfredsställande sätt. I och med att CAD förekommer i snart sagt alla branscher och fler och fler ansluter sig till Internet är det ganska lätt att se fördelar med att plocka detaljerna och sätta samman dessa till en slutlig komplett virtuell produkt innehållande information från CAD-ritning och byggbeskrivning. Nya användarvänliga programvaror skapar också förståelse för den egna processen och ger upphov till idéer till förbättringar och större möjligheter att anpassa produktion mot kund. IT och dess användning kommer så småningom att ge ytterligare förutsättningar för ett nära samarbete mellan aktörerna och deras kunder och kunders kunder.

Utvecklingen av programvara för att konstruera och representera objekt i tre eller fler dimensioner blir också mer och mer användarvänliga samt integrerade i vanliga så kallade "kontorsprogram". Idag (2005) finns möjligheten att integrera CAD funktionalitet i programpaketet Office från Microsoft och Windows Vista som så småningom (Preliminärt 2006) ersätter Windows XP stöder nu 3D på operativsystemnivå (Microsoft, 2005).

Utvecklingen går också mot att programvaruleverantörerna bygger nya Web-baserade verktyg från grunden. Detta är verktyg som i högre grad utnyttjar Internet för att förbättra och förenkla konstruktionsprocessen och hjälper användarna sprida informationen utanför konstruktionsavdelningarna till exempelvis försäljnings- och marknadsavdelningarna och även till fältorganisationen och tänkta kunder (se t.ex. Open HFS). De utmaningar konstruktören och arkitekten ställs inför idag handlar om långt mer än att göra ett bra jobb på konstruktions- eller designavdelningen. Behovet av en samlad lösning, som kombinerar logiska arbetsmetoder, sammanhängande designprocesser och konkreta, tekniska verktyg ökar. Den gemensamma nämnaren blir förmodligen Internet, där digitala produktdata lätt kan utväxlas mellan kollegor, samarbetspartners och kunder. Kravet är här att båda kan hantera informationen och CAD-ritningens format på ett tillfredsställande sätt.

Ett fåtal oberoende organisationer arbetar redan idag med regelsystem kring detta, bland annat IAI (2005) och GDL Alliance (2005) som på var sitt håll propagerar för sitt sätt att datamässigt representera verkliga objekt. I Sverige och naturligtvis internationellt finns idag flertalet användarföreningar som arbetar med 2D, 3D och 4D-CAD där man med hjälp av Internet snabbt hittar kontakter och kan få, och även ge hjälp. Andra exempel är företaget Autodesk<sup>1</sup> som idag bygger speciella branschportaler på Internet där man kan samarbeta med kollegor och göra affärer.

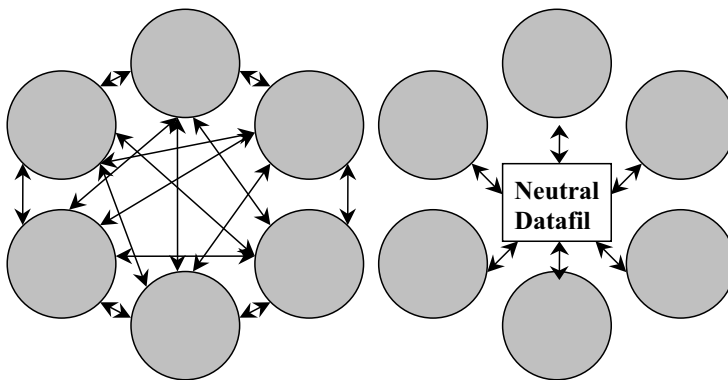
---

<sup>1</sup> Autodesk står bakom programmet AutoCAD™ och är ett av världens största programföretag med mer än 4 miljoner kunder i 150 länder. (Autodesk, 2005)

Nya virtuella resurscenter byggs också upp där man kan hitta nyheter, utbildning, produkttips, symboler och mycket mer. Autodesk är dock inte ensamma på detta utan snart sagt alla större mjukvaruleverantörer inom de flesta områden och branscher knyter upp användarna i globala intresseorienterade användarnätverk för utbyte av erfarenheter och kunnande. Ett exempel på en svensk portal är [www.CADtorget.se](http://www.CADtorget.se). En amerikansk portal för byggprojektering är [www.buzzsaw.com](http://www.buzzsaw.com). I en vision om framtiden säger Autodesk att "CAD-verktyget kommer i framtiden inte att vara enbart ett ritverktyg utan kommer att ingå i en integrerad miljö där uppgifter om geometri, kostnader, tider etc. kommer från samma datakälla." (Autodesk, 2005)

Ett exempel på en produkt som skulle passa i en sådan miljö är en Parametriserad delproduktmodell för massivträväggar, lagrad i ett standardiserat filformat ger den fördelar genom hela kedjan av aktörer, från arkitekt och konstruktör till förvaltare och slutanvändare. Genom att återanvända informationen som lagras i ett öppet och standardiserat dataformat kan sedan varje aktör och användare individuellt utnyttja och komplettera den information och kunskap som övriga bidragit med (Figur 2.9).

Genom att alla använder samma dataformat minskar också antalet fel och nödvändiga kontroller på grund av konverteringar mellan olika dataformat och plattformar. Varje aktör kan dessutom relativt enkelt oberoende av andra skapa egna skräddarsydda och anpassade applikationer, där enda kravet är att utnyttja det öppna och standardiserade dataformatet.



Figur 2.9: Schematisk beskrivning av antalet översättningar mellan applikationer och system med normalt synsätt respektive användandet av en neutralt men specificerat datafilformat (Fritt efter Ingels, 1985).

Introduktionen av informationsteknologi (IT) i byggandet har enligt Pietroforte (1997) varit mindre effektiv än inom annan industri på grund av projekteringsfasens mångfald av aktörer. Samarbetet kompliceras av faktorer som t.ex. hur olika ramverk ska tolkas, varierande och begränsad kunskap, uppsplätning av arbetsuppgifter och skiftande karaktär på dessa. Detta skapar oklara och motstridiga problemsituationer, som kräver mycket av samordningsaktiviteter för att man skall finna lösningar.

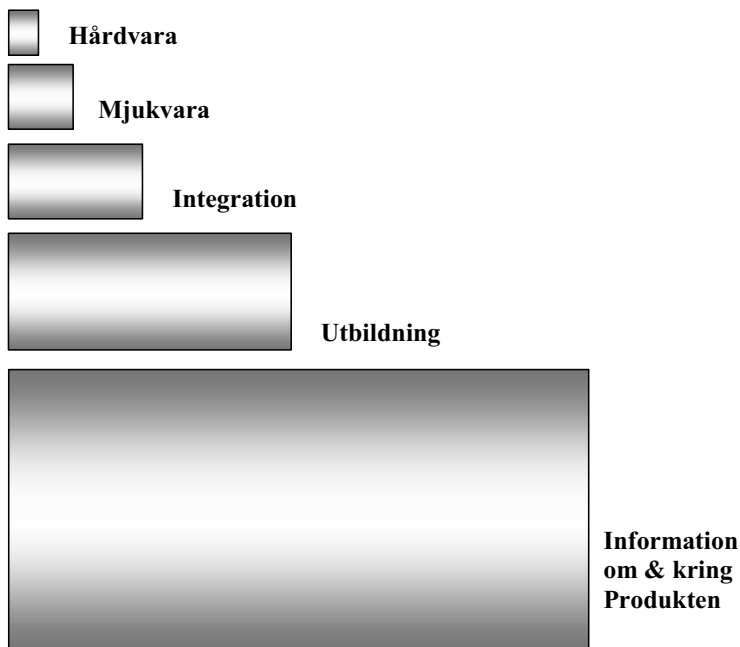
Mellan de olika aktörerna uppkommer en ström av information i form av möten, skisser CAD-ritningar, beskrivningar, avtal med mera. Informationsöverföring är ganska likartad oavsett mellan vilka aktörer det sker. Vid möten diskuteras lösningar och användandet av skisser och ritningar (på papper) ökar förståelsen och gör det lättare för motparten att tolka och inspireras. Skillnaden mellan formella och informella möten betecknas ofta av att vid de formella mötena ges riktlinjer och informella möten handlar mer om detaljlösningar. Den senare är en form av problemlösning utanför de formella vägarna och gör kontroll och styrning av processen svårare (Persson, 2000).

Cigén (2003) har också studerat kommunikationen inom byggbranschen, hon konstaterar att det finns möjligheter att effektivisera byggvärdekedjan genom en förbättrad kommunikation mellan träkomponentleverantörer och byggare genom att involvera träkomponentleverantören redan i planeringsskedet. Cigén betonar också att en ny produkt får fotfäste på byggmarknaden genom en väl fungerande kommunikation mellan materialleverantör och kund. Cigén konstaterar också att byggbranschen inte kommit lika långt som exempelvis bilindustrin när det gäller hur man nyttjar de kommunikationsmöjligheter som utvecklingen inom IT-området ger. Ett slående exempel på användningen av IT-verktyg inom byggsektorn är rapporten från 2001, "Kommunikation I byggprojekt. Verkligheter och Möjligheter" av Bo Carlsson och Per-Erik Josephson där det bland annat sägs "Vi har inga datorer på arbetsplatsen", "vi kan inte ta emot e-post". Flera aktörer siade också om att fax inte kommer att slås ut av e-post. "Det är så lätt att rita en skiss och förklara sin intention via fax och få tillbaka feedback på idén". Utvecklingen inom "mobil IT" har idag en lösning då det nu dykt upp mobiltelefoner med e-post, kamera och i vissa fall även videokamera som i realtid (3G) överför bilder till mottagaren, vissa telefoner kan dessutom även hantera ritningar i 2D.

Vi kan med all sannolikhet räkna med att det i framtiden finns fler och snabbare persondatorer som kör större och mer omfattande applikationer samt nya tekniska hjälpmedel och annan kringutrustning som i realtid på bygget hjälper oss att hantera mer data och kommunicera med andra datasystem och användare. Allt för att öka förmågan att samordna, samarbeta och snabba upp utvecklingsprocesser och produktion.

Detta leder oss till frågan om vilka tekniska system och informationsbärare som vi skall eller bör använda i framtiden. De tekniska systemen är ju egentligen enbart verktygslådor som med hjälp av tillämpningar eller applikationer hanterar den väsentliga informationen. IT handlar ju först och främst om informationsteknik inte datorteknik. Livslängd och kostnader för de olika komponenterna är väldigt olika, men oftast är den i särklass största kostnaden och tidsåtgången att ta fram underlag och dokumentation för en produkt eller process (Figur 2.10). Därför är det kanske bästa sättet att höja produktiviteten och minska kostnader i ett projekt med många interna och externa intressenter, att så långt som möjligt återanvända information.

Ett exempel kan vara byggnadsritningar som måste vara tillgängliga under hela byggnadens livstid. Först som konstruktionsunderlag, sedan som ett stöd vid förvaltning och till slut som en del i ett system för återvinning. Datainformationen är alltså det väsentliga och bör därför ha den längsta livslängden, INTE datasystemen med datorer och program.



Figur 2.10: Typisk kostnadsbild (Celander, 2003)

Det ter sig naturligt att informationen måste struktureras, organiseras och lagras så att den klarar flera generationer av de andra komponenterna i systemet (Howard, 1998).

Målsättningen är att användaren när som helst, helst på ett enda ställe lätt skall kunna hämta kunskap genom att hitta rätt information vid rätt tillfälle och helst via rätt (re)presentationsform. En lösning kan då vara att använda produktmodeller och neutrala filformat (Figur 2.9).

Över i vårt fall ett långt tidsperspektiv där kanske byggnadens livslängd är mer än 50 år är det lätt att inse att det är lättare att ena sig om ett väl genomtänkt och definierat dataformat än ett datorsystem eller program som i bästa fall har en teknisk eller ekonomisk livslängd på 10 år.

Persson (2000) har undersökt behovet av informationsstödsystem hos olika aktörer i byggprocessen. Av aktörerna i ett byggprojekt har byggherren en nyckelroll för att en fungerande kommunikation skall komma till stånd, tydliga budskap efterfrågas av övriga aktörer för att processen skall styras rätt. Såväl byggherrar, projektledare som

entreprenörer efterfrågar idag också stödsystem för administration, ekonomistyrning, kalkylmetoder som i realtid integreras med övriga programvaror. Det efterfrågas möjligheten att grovsålla bland alternativ vid olika situationer och visualiseringar i 3D där simultan projektering kan göras i samma modell. Det finns också en tendens till att vilja se stödsystem som identifierbara delar som man sedan plockar ihop till en helhet enligt IKEA's princip. Några nyckelord för framtida stödsystems funktionalitet är användarvänlighet/enkelhet och snabbhet (Persson, 2000).

I samma rapport görs även en intervju där aktörerna får besvara frågan om vilken typ av IT-stöd som behövs för att stödja projektering och support kring ett stödsystem. Det som värderas högst är de stöd som förbättrar kommunikationen internt (Kunskapsförmedling) och externt (Marknadsföring) och även medger jämförelsestudier och riskeliminering.

Cigén (2003) poängterar att informationen bör skräddarsys efter mottagarens behov för att minimera problem i kommunikationen under anbuds- projekterings- och planeringsskede. Detta passar produktmodelltänkandet väl då all typ av information ligger samlad i datafil med en definierad struktur, önskvärd information eller data kan då enkelt hämtas och presenteras med hjälp av en skräddarsydd applikation.

Cigén framhåller även vikten att använda rika medier (exempelvis personliga möten) i det inledande arbetet för att sedan övergå till mer opersonliga medier. Slutsatserna stöds av Carlsson, B. Josephson, P-E. (2001) som i sin rapport också noterar att i ett byggprojekt sker mer än hälften (57%) av all kommunikation ansikte mot ansikte, alltför mycket kommunikation (37%) handlar om ändringar fel och brister, framförallt under produktionsskedet. Även om informationsflödet varit större än förväntat under de fyra husbyggnadsprojekten som följts och redovisats, efterfrågas ändå mer information och tydlighet av aktörerna.

Sammanfattningsvis efterfrågar alltså aktörerna ett IT-stöd som är användaranpassat, kommunikativt/användarvänligt, tillgängligt för alla, alltid uppdaterat samt med en hög detaljeringsnivå. Vidare önskemål är möjlighet till variantjämförelser och kalkyleringsstöd.

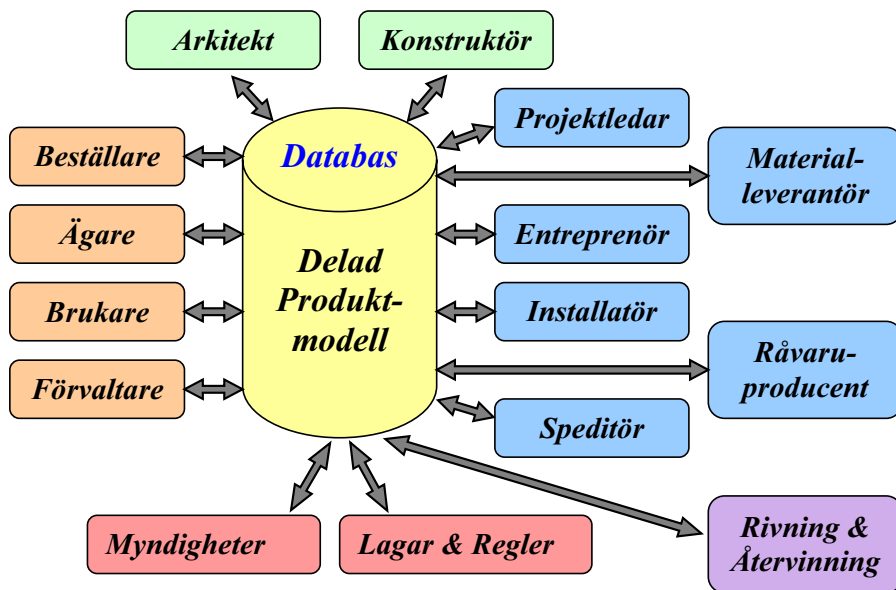
## **2.5 Produktmodeller**

En produktmodell är ett schema (en mall eller referensram) för att beskriva en "produkt" i mycket bred mening. Man kan också säga att det är en datorläsbar beskrivning av en produkt. För varje produkttyp krävs då ett schema t.ex. "bilar", "flygplan" eller "fastigheter". Schemat innehåller de begrepp som man vill lagra information om. Det kan vara fysiska objekt (hus, fönster, bjälklag, rum). Det kan också vara organisatoriska begrepp (aktörer, kostnadsposter, tidplanaktiviteter, leveranser, rumsgupper, dokument). En produktmodell blir följaktligen mer omfattande ju större område och ju fler aspekter den är avsedd att spegla (IT i bygg och Fastighet, 2002). Vidare definieras vilken sorts information som ingår i beskrivningen eller klassificeringen av var och ett av objekten (t.ex. för fönster: bredd,

karmtyp, indelning, glastyp). I modellen beskrivs också förhållandet mellan objekten (fönster - vägg, rum - våning, handfat - leverantör, vägg - byggaktivitet, rumsgroup - hyreskontraktsdokument).

Ett väl fungerande klassificeringssystem för processen och produkten är en förutsättning för att hålla ihop informationen i ett byggprojekt och underlätta informationsöverföring mellan projektets deltagare.

Mallen eller produktmodellen gör sedan att olika applikationer kan utväxla (läsa och eller skriva) data utan missförstånd. Ur produktmodellen kan sedan handlingar av mer traditionell natur skapas och utan dröjsmål presenteras i önskad form, som t.ex. särskilt definierade vyer, eller som en utskrift. Vid en ändring av informationen i produktmodellen kommer samtliga dokument att omfattas av ändringen eftersom de bygger på samma informationskälla och i och med detta har inte dokumenten den tröghetseffekt på ändringar som är fallet i manuell dokumentkoordination och dokumentframställning. I Figur 2.11 visas flöden av datakommunikation i ett byggprojekt och mellan alla dess intressenter där produktmodellen ligger i centrum med all information tillgänglig för alla användare samtidigt.



Figur 2.11: Schematisk beskrivning av dataflödet in och ut ur en produktmodell.

Den datoriserade produktmodellen kan lagra och förmedla information på många nya sätt och kan innehålla mycket mera information jämfört med ett pappersbaserat dokument. Anvisningar för montering och utförande kan knytas till produktmodellen, t ex kan man i en animerad sekvens visa hur man monterar en vägg eller ansluter VVS. Referenser kan utformas som länkar, som gör den refererade informationen

omedelbart tillgänglig, oberoende om den är lagrad i andra dokument eller på andra datorer. Miljödeklarationer och varuinformation kan också infogas i form av länkar till tillverkare eller leverantörer som tillhandahåller information på publika datanät. Datorlagrade dokument är också tillgängliga för databaserad informationsbehandling, t.ex. i form av automatisk indexering och sökning.

All information behöver inte, eller ska inte vara tillgänglig för alla och presentationen bör som tidigare nämnts också vara olika beroende på vem eller vilka som använder informationen som är kopplad till produktmodellen. Förutsättningen för att produktmodellen skall vara allmänt användbar är naturligtvis att den som tidigare nämnts är flyttbar eller kommunicerbar mellan olika branscher, dator och programvaruplattformar, och att den är stabil i tiden.

Det som behövs är alltså en standard för informationshanteringen. Generellt bygger man upp olika standarder på liknande sätt genom att objekt som representerar tingens egenskaper, så kallade attributobjekt, kan relateras till varandra så att sammansatta eller härledda egenskaper kan beskrivas i termer av än mer grundläggande egenskaper. Med denna hierarkiska princip skapar man system med sammansatta egenskaper ur delar med enklare egenskaper, t ex skapas utrymmen av byggdelar såsom vägg, tak och golv. Attributobjekt kan specialiseras från allmän till specifik, t.ex. hierarkin, Kulör - Blå - NCS 0080-R90B. På samma sätt skapas hierarkier av mer sammansatta egenskaper som t.ex. Möbel - Stol - Kinnarps 8000.

## **STEP**

AMA och BSAB-systemet är svenska sätt att systematiskt indela den byggda verkligheten, systemen syftar till att hela branschen skall kunna tala samma språk från materialtillverkare via projektörer och entreprenörer till förvaltare (Svensk byggtjänst, 2005). Idag saknas det dock i BSAB-systemet en byggproduktmodell som skulle kunna utgöra det sammanhållande systemet för informationen men mer om det senare. Bristen på internationella vedertagna standarder håller för närvarande på att åtgärdas.

STEP eller "Standard for the Exchange of Product Model Data" (ISO 10303) och dess parter är i praktiken en grupp Application Protocols (AP) av internationella standarder för produktmodeller. STEP är under utveckling och influeras av andra standarder och för byggsektorn finns endast standarden för geometribeskrivningarna framtagen. Standarden byggs först och främst upp via ett gemensamt språk för datadefinition kallat EXPRESS och finns beskrivet i ISO-standardens part 11.

Det standardiserade filformatet definieras sedan i part 21 (Clear text encoding of the exchange structure). Standarden är i huvudsak användardriven och utvecklas av ISO TC184/SC4 det vill säga ISO's Technical Committee 184 Sub Committee 4. Arbetets omfång innefattar alla industriella data relaterat till enskilda produkter, bland annat, men inte begränsat till:



- Geometrier och toleranser.
- Material och funktionsspecifikationer.
- Produktkonfigurering.
- Relationer mellan produkter.
- Processdata.
- Produktionsdata inklusive kostnader.
- Produktsupport och logistik.
- Livscykeldata.
- Kvalitetsdata.
- Återvinningsdata.

Standarden inkluderar även vissa data om relationer i företaget/organisationen dock inte planeringsdata av typen vinstkalkyler pengaflöden etcetera, personaldata är också utanför standarden.

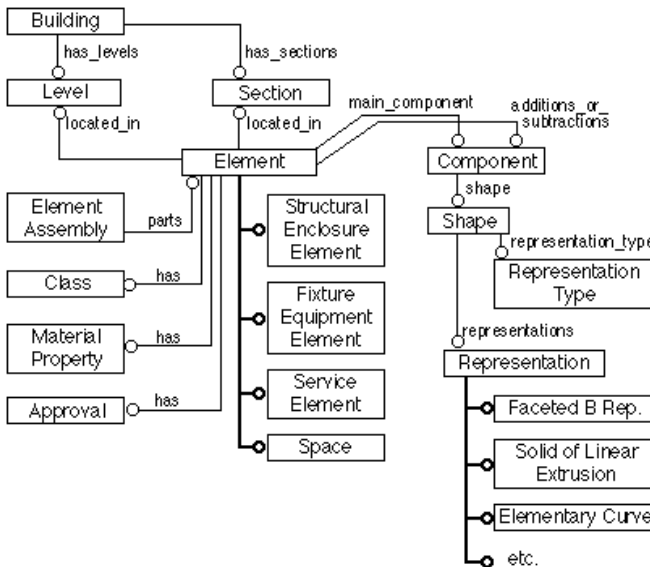
Standarden är som tidigare nämnts uppdelad i ett flertal understandarder så kallade Application Protocoll's se tabell 2.1 som i viss mån avgränsar understandarderna till ett visst användningsområde. Detta gör att de olika delarnas framsteg kan ske i olika takt och därmed en möjlighet till en mer effektiv utveckling av standarden. Protokollen byggs upp på samma sätt och exempelvis så är tredimensionell information, sammansättningsdata och produktinformation lika i AP-203 och AP-214. Dessa protokoll är speciellt viktiga då de definierar hur 3D-information skall hanteras och är därigenom starkt kopplade till verktyget 3D CAD.

Tabell 2.1: STEP Application Protocols (ur ISO 10303).

Part 201	Explicit Drafting
Part 202	Associative Drafting
Part 203	Configuration Controlled Design
Part 204	Mechanical Design Using Boundary Representation
Part 205	Mechanical Design Using Surface Representation
Part 206	Mechanical Design Using Wireframe Representation
Part 207	Sheet Metal Dies and Blocks
Part 208	Life Cycle Product Change Process
Part 209	Design Through Analysis of Composite and Metallic Structures
Part 210	Electronic Printed Circuit Assembly, Design and Manufacturing
Part 211	Electronics Test Diagnostics and Remanufacture
Part 212	Electrotechnical Plants
Part 213	Numerical Control Process Plans for Machined Parts
Part 214	Core Data for Automotive Mechanical Design Processes
Part 215	Ship Arrangement
Part 216	Ship Molded Forms
Part 217	Ship Piping
Part 218	Ship Structures
Part 219	Dimensional Inspection Process Planning for CMMs
Part 220	Printed Circuit Assembly Manufacturing Planning
Part 221	Functional Data and Schematic Representation for Process Plans
Part 222	Design Engineering to Manufacturing for Composite Structures
Part 223	Exchange of Design and Manufacturing DPD for Composites
Part 224	Mechanical Product Definition for Process Planning
Part 225	Structural Building Elements Using Explicit Shape Representation
Part 226	Shipbuilding Mechanical Systems
Part 227	Plant Spatial Configuration
Part 228	Building Services
Part 229	Design and Manufacturing Information for Forged Parts
Part 230	Building Structure frame steelwork
Part 231	Process Engineering Data
Part 232	Technical Data Packaging
Part 233	Systems Engineering Data Representation
Part 234	Ship Operational logs, records and messages
Part 235	Materials Information for products
Part 236	Furniture product and project
Part 237	Computational Fluid Dynamics
Part 238	Integrated CNC Machining
Part 239	Product Life Cycle Support
Part 240	Process Planning

AP 225 "Structural Building Elements Using Explicit Shape Representation" är för närvarande bäst lämpad för byggande. AP 225 representerar byggnaden som sammanställning av element t.ex. bjälkar kolumner, fönster, dörrar etc. tillsammans med en klar och tydlig (icke parametriskt) 3D-geometri på varje element. Där finns även information om materialegenskaper, klassificering eller elementversion. Den huvudsakliga objektgrupperingen i AP 225 (Units of Functionality) som är definierad enligt nedan kan också ses i Figur 2.12.

- Building elements: Byggnadselement är diskreta storskaliga delar av, eller föremål i byggnaden.
- Building Components: Objekt som motsvarar individuella komponenter som bygger upp ett byggnadselement, en massivträvägg t.ex.
- Composition: Objekt som identifierar byggnader som bryts ned till sektioner och plan. Byggnadselement som är elementsammansättningar är positionerade här.
- Design Administration: Hanterar ”administrativ info” t.ex. olika tillstånd, godkännanden och modifieringar.
- Properties and Classification: Objekt som representerar ickegeometrisk elementinformation t.ex. materialegenskaper och klassificering.
- Dessutom tillkommer flertalet objekt för representation av geometri och utseende.



Figur 2.12: Några fundamentala objekt i AP225 och förtydligande av hur byggnadselementet beskrivs eller byggs upp. (Froese, 1996)

## IFC

IFC (Industry Foundation Classes) har parallellt med STEP utvecklats av IAI<sup>2</sup> (International Alliance for Interoperability). Ett tidigt tekniskt beslut i IAI var att IFC skulle baseras på EXPRESS (ISO 10303:11) som är datadefinitionsspråket utvecklat som en ISO standard inom STEP. Detta schema är specifikt inriktat mot

<sup>2</sup> IAI har över 600 medlemmar i mer än 20 länder. I Sverige finns SIAI, Svenska IAI Forum som organisatoriskt hör till IAI Nordic Chapter. (IAI, 2005)

bygg- och fastighetsområdet där IFC är ett ramverk av klasser för överföring av information om byggnadsverk mellan olika datorprogram. IFC skall alltså användas vid utveckling av datorprogram så att dessa beskriver byggnaden och dess delar på samma sätt. Det skulle slutligen innebära att CAD-programmen blev kompatibla, inte bara sinsemellan utan också med kalkylprogram, planeringsprogram och andra applikationer som används i bygg- och förvaltningsprocesserna.

Organisationen IAI bildades i USA 1994 och består idag av representanter för arkitekter, konstruktörer och byggare från hela världen. IAI presenterade den första IFC informationsmodellen i januari 1997 och har totalt publicerats i fem officiella versioner. IAI har specialister som arbetar med specifikationerna och dessa diskuteras i olika grupper centralt och inom de olika geografiska organisationerna. Detta är komplicerat och tidsödande och ett bakslag för IAI har varit att hela konceptet tagit mycket lång tid. Samtidigt är det viktigt med att uppnå beslut som är väl förankrade och baserade på konsensus och samförstånd. Organisationen har haft en del problem med detta, vilket är rätt naturligt eftersom man arbetar i teknikens frontlinje. Man saknar i hög grad ett gemensamt vetenskapligt synsätt inom området produktmodeller. Detta håller på att växa fram men även detta tar tid.

Den största förändringen i utvecklingen av IFC skedde i och med version 2x genom att man gjorde det möjligt att utveckla standaren i moduler vilket möjliggjort en effektivare utveckling.

I version 2x introducerades också specifikationen ifcXML som definierar hela IFCmodellen i XML schema definition language (XMS) och ger ett alternativt till EXPRESS's sätt att dela information. Utvecklingsprogrammet IT i bygg och fastighet från 2002 (ITBoF), kunde i och med IFC version 2x skapa en kommersiell applikation, som gjorde det möjligt att relativt enkelt exportera IFCfiler där alla objekt som används också kan tilldelas klassifikation enligt BSAB 96. Detta gjordes via en egenutvecklad databas tillsammans med programmet ArchiCAD (version 7.0).

Som en spin-off från ITBoF startades sbXML-föreningen vars syfte är att utveckla formatet sbXML i samarbete med liknande standarder. Föreningens medlemmar är idag AB Svenskbyggtjänst, Consultec Byggprogram AB, Skanska Sverige AB, Mängda Produktion AB, Wiksells Byggberäkningar AB

Branschens bedömning är att IFC i framtiden kommer att gå samman med STEP i en enda standard. (buildingSMART, 2005)

## **XML**

XML (Extensible Markup Language) kommer som en standard från annat håll och skapades för att på ett enkelt sätt kunna distribuera rikligt strukturerade dokument via Internet och World Wide Web (WWW). Med hjälp av XML kan man skapa märkordsuppsättningar som inte bara beskriver hur ett dokument skall se ut när det presenteras utan också beskriver vad informationen handlar om. Alla typer av information kan märkas, t.ex. rapporter, fakturor, journaler, manualer, beslut,

prislistor m.m. (XML Akademin, 2005). XML är en förenklad dialekt av ett komplicerat ASCII-baserat SGML, (ISO 8879, Standard Generalized Markup Language) och HTML språk (HyperText Markup Language) som inte tillåter godtyckliga strukturer. Observera att HTML innehåller en fast uppsättning märkord medan XML är ett metaspråk för att skapa märkordsuppsättningar. HTML används för att beskriva hur ett dokument skall presenteras i en webbläsare. XML specificerar alltså inte semantiken eller ett styrande set av märkordsuppsättningar utan är istället ett hjälpmedel att definiera märkordsuppsättningar och det strukturella förhållandet mellan dem.

Utvecklingsmålet för XML ges av World Wide Web Consortium (2005) och är i korthet följande:

- XML ska vara rättfram och lättanvänt över Internet.
- Stöd för en stor bredd av andra applikationer för kommunikation över Internet. (3D CAD är bara ett exempel)
- Kompatibelt med SGML.
- Det skall vara enkelt att skriva program som processar XML dokument.
- Inga "options" bör finnas för att erbjuda maximal kompatibilitet.
- Strukturen och innehållet i ett XML dokument skall vara hyggligt läsbar även utan korrekt programvara.
- Utvecklingen av XML "ska gå fort" inte så långsamt som utveckling av "andra standarder".
- Utvecklingen av XML ska vara formell och kortfattad (se även nr:4).
- XML dokument skall vara lätta att skapa även i en texteditor.
- I utvecklingen av XML är det inte nödvändigt att prioritera ett kortfattat och torftigt, läs svårbegripligt språkbruk. Kortkommandon och andra arbetsbesparade genvägar när man ska skriva finns i snart sagt alla moderna texteditorer och sånt ska inte belasta eller bromsa XML's utveckling.

XML har de facto blivit ett plattformsoberoende sätt att kommunicera (dokumentrepresentation) via hemsidor på Internet och kommer med största sannolikhet att starkt påverka och påverkas av både STEP och IFC. ifcXML, en IFC implementaion av XML är nu accepterad och XML finns också redan nu som Part 28 i STEP (XML representation av EXPRESS scheman och data).

## **Open HSF**

Ett annat filformat för utbyte av CAD filer är HOOPS Streaming Format. Det har dykt upp sedan 2000 som ett helt fritt och öppet (Public Domain) filformat utan anknytning till något programföretag. Filformatet har uppkommit genom efterfrågan av ett "lättare" filformat för utbyte av grafisk information mellan 2D, 3D-CAD och andra system för försäljning, visualisering på Internet etc. Ett flertal stora företag stöder detta format som ses som en "minsta gemensamma nämnare" och ett komplement till de egna specifika filformaten.

## **Övergång från 2D till 3D**

En viktig detalj som måste fungera vid överföring av en ritning mellan olika system är att säkra måttsättning och toleranser. Dagens standarder är långt ifrån heltäckande och dessutom fokuserade på 2D och pappersritningar. Innan olika företag och länder hunnit skapa sina egna standarder har Standarden ISO 16792 tagit ett steg närmare lösningen med ett enhetligt sätt att måttsätta objekt i en 3D-modell. Även regler för annan information om objektet t.ex. ytjämnhet, ingår också. Standarden finns idag i form av ett utkast och är framdriven av CAD användare och bygger bland annat på den amerikanska standarden Y14.41 (Digital Product Definition Data Practices) som bidragit med bland annat ritningssymboler vilket innebär att europeiska och amerikanska system lättare kan utbyta information. Stöd från andra standarder t.ex. STEP kommer att behövas men sammantaget bygger alltså ISO 16792 vidare på möjligheten att utbyta CAD-data mellan olika system och kommer efter en kort betänketid troligen att fastställas under 2005.

### ***2.6 Sammanfattning av nulägesbeskrivning***

3D CAD är en nödvändighet för ett framtida arbete och utveckling med hjälp av produktmodeller. 3D CAD som verktyg ersätter också 2D hos allt fler användare och kan i dag anses vara en mogen produkt med användaren i fokus. 3D CAD kräver till viss del ett annat tankesätt vid "ritbordet" men inga oöverstigliga hinder finns för en övergång från 2D. Många positiva effekter med 3D kan dessutom utnyttjas även om produktmodeller INTE används direkt efter övergången till 3D.

Arbetet med att förbättra de olika standarderna för filformat och dataöverföring fortskrider hela tiden. Arbetet har dock kommit så långt idag att det trots trä- och byggindustrins relativt låga IT-mognad inte finns några hinder att redan nu övergå till att använda dessa för att förenkla grundläggande datakommunikation och filöverföring.

### 3 Forskningsmetod

All forskning utförs med förutsättningen att vara välgrundad och värdefull oberoende vilken metod som används. Forskningsmetodikerna kan vara indirekt eller direkt. Det vill säga en kvantitativ metod där forskaren producerar data genom exempelvis laboratorieexperiment och observation (protokoll) eller en kvalitativ metod där t ex en försöksperson själv genererar data utifrån intervjuer eller deltagande i någon form.

Observera att beteckningarna kvalitativ och kvantitativ inte här har någon koppling till själva mätningen eller mätvärden.

Ett kvantitativt perspektiv, det som man oftast förknippar med "klassisk forskning" har som mål att försöka förklara/bevisa, genom att i tid och rum isolera en företeelse (atomism) och sedan studera det som objektivt kan iaktas. Forskaren förhåller sig hela tiden objektiv i förhållande till företeelsen och är därmed utbytbar och resultaten kan oftast generaliseras. Validitet och reliabilitet är relativt enkelt att verifiera.

De enklaste definitionerna av en kvalitativ metod är att den innehåller metoder för datainsamling och analys som inte är kvantitativ (Lofland & Lofland, 1984). Metoden fokuserar på "Kvalitet" en term som refererar till atmosfären eller det väsentliga i något (Berg, 1989). Det involverar en subjektiv metodik med dig själv som forskningsinstrument (Adler & Adler, 1987).

Ett kvalitativt perspektiv har som mål att försöka förstå, och ofta studerar det specifikt mänskliga. Det man vill studera handlar ofta om kvalité och inte om antal, fördelningar eller exakta mätvärden. Resultatet kan vara ett antal nya aspekter på ett problem. Ibland kan man även få fram antal även om det sällan är huvudsyftet. Metoden baserar sig till del på upplevda erfarenheter, ser relationen förflutet - nutid - framtid och ser till helheten (holism). Valet av metod eller angreppssätt får/måste kanske därför ändras under projektets gång. Forskaren har också en förtroendefull relation och kanske även delaktighet till informationen och är ej utbytbar.

Det bör nämnas att forskaren nödvändigtvis inte behöver vara en tolk av det som studeras.

Resultaten kan till viss del generaliseras och överföras men validitet och reliabilitet är svårare att verifiera i och med att globala förutsättningar såsom sociala strukturer och tekniska landvinningar hela tiden förändras och verkligheten ses genom forskarens "glasögon".

Chua (1986) föreslår att den kvalitativa metoden indelas tre kategorier som baseras på följande kunskaps teorier "Positivist, Interpretive och Critical" som kortfattat beskrivs enligt nedan.

Positivist: Förutsätter att verkligheten är objektiv och kan beskrivas med mätbara egenskaper oberoende av observatören/forskaren och dennes mätutrustning. Används generellt vid test av teorier kring att försöka förutspå ett fenomen.

Interpretive: Antar att tillgången till verkligheten (given eller socialt konstruerad) endast kan nås via social kommunikation såsom språk, medvetenhet och delad uppfattning. Metoden används för att få förståelse för strukturer och sammanhang i den sociala kommunikationen.

Critical: Antar att den sociala verkligheten är historiskt uppbyggd och byggs, återges och görs om av och med människor. Även om människor medvetet agerar för att förändra ekonomiska och sociala omständigheter "vet" forskaren att agerandet begränsas eller hämmas av social, kulturell och politisk styrning och kontroll. Metoden fokuserar på nutida motsättningar, konflikter och motstånd inom och mellan grupper och försöker att vara en medlare/befriare genom att eliminera eller minimera orsaker till främlingskap och meningsskiljaktigheter.

Denna uppsats består av två delar, ett kvalitativt perspektiv i detta fall i en så kallad deltagarobservation, en fallstudie, som ger ett kvantitativt perspektiv med jämförelser mellan teoretiska och faktiska mätningar av limmade och spikade massiva byggelement i trä.

I den kvalitativa delen deltar forskaren aktivt i studien. Forskaren som inte skiljer sig alltför mycket ifrån dem han studerar, måste arbeta på två nivåer, dels som en insider men samtidigt förbli en outsider. Forskaren måste här undvika att bli för acklimatiserad eller hemmastadd i gruppen lika väl som att inte bli förfärad eller bli upprörd av gruppens uppförande och handlande. Forskaren måste också ha förmågan att förstå och känna bredden av den sociala betydelsen av handlandet i en social struktur och en förutsättning för att erhålla giltiga och välgrundade data kring det som undersöks så måste forskaren erhålla den eller de undersökta förtroende. Detta är enligt "Chicago Skolan"<sup>3</sup> inte ett problem då människor generellt är rättframma, ärliga och samarbetsvilliga (Blumer 1969, Gold 1958, Junker 1960). Freilich (1970) menar också att ett humanistiskt angreppssätt till ett mänskligt beteende gör att en god och human människa kan uppnå samförstånd i en relation. Om forskare uppträder passande och är ärliga belönas de med förtroende och ges då tillträde till möten dokument intervjuer etc. (Peshkin, 1984).

Forskningsmetoden gör att man inte från början vet exakt vilka resultat som är tänkbara och kräver en följsamhet gentemot det man studerar. De kvalitativa metoderna kan alltså beskriva eller belysa nya kvaliteter av verkligheten som inte var kända förut.

---

<sup>3</sup> Temat för Chicago skolan var att studera mänskligt beteende som bestämts av omgivningens sociala och fysiska faktorer. Forskarna utvecklade en empirisk sociologi och Staden Chicago var fokus (därav namnet).



## 4 Fallstudie: Byggelement i massivträ

Under 2001 hade två företag i Skellefteås närhet intresserat sig för tillverkning och utprovning av nya produkter i massivträ. Ett antal prototyper hade tagits fram och provats i AB Träteks laboratorium. I syfte att se hur generella programvaror fungerar applicerat på materialet trä och EWP fann vi det därför lämpligt att på dessa massivträprodukter, som ett första steg, jämföra testresultaten från laborietester med resultat från en datormodell i 3D-CAD och FEM. Genom att direkt sätta sig in i arbetssituationen som en ”vanlig” konstruktör borde det ganska snart visa sig om det saknas nödvändig information till, eller funktion hos de generella verktygen.

Ett exempel på bristande funktion hos exempelvis FEM program har tidigare varit förmågan att på ett enkelt sätt hantera ett anisotropt material som trä de facto är. Trä är ju ett i naturen växande biologiskt material och kan till skillnad från stål och betong som tillverkas industriellt inte lika enkelt ges väldefinierade och väldokumenterade materialegenskaper. Hur kommer detta faktum att inverka på resultaten och därmed till viss del tilltro till de ”nya” verktygen?

### 4.1 Material och Metoder

#### Val av programvara

Metoden att välja programvara (verktyg) avviker inte nämnvärt från en verklig situation där floran av programvaror som kan modellera med hjälp av 3D CAD och sedan kommunicera med ett FEM program kan göras lång. Utifrån kravet på support för nämnda standarder (IFC, STEP) och krav på goda kommunikationsmöjligheter över Internet med andra användare och med andra IT-baserade verktyg valdes dels ett program med fokus på byggande och dels ett generellt 3DCAD/FEM programpaket. Några andra viktiga och väsentliga egenskaper var att programmen skulle vara körbara på en normal persondator i en normal Windowsmiljö, lätta att använda, relativt enkelt kunna styras med skript eller andra program (t.ex. Visual Basic). Dessa egenskaper delas naturligtvis med andra program och valet kan också ha gjorts annorlunda, men närhet till support, andra användares rekommendation, programföretagens visioner och programmets potential gjorde att valet föll på nedanstående program och programpaket.

ArchieCAD (2005) (Använt i versioner 6,5 och 7) är ett 3D-CAD program från Graphisoft som fokuserar på byggnadsdesign och används av flertalet arkitekter och konstruktörer i Sverige. Genom dess fokus på byggande läser och skriver programmet via tilläggsmoduler bland annat formaten IFC version 1.5.1, 2, 2x, 2x2 där hanteringen av IFC version 2x3 är under utveckling (Betaversion finns tillgänglig). ArchieCAD använder också GDL (Geometric Description Language) som skriptspråk (Exempel i BILAGA 1) vilket innehåller nödvändig information för att skapa byggelement som 2D CAD symboler eller 3D modeller. GDL är en öppen standard och tiotusentals GDLobjekt finns för gratis nedladdning via Internet. GDL-

objekt är parametriska i sin natur och även flyttbara mellan datorplattformar. GDL-objekt kan exportera produktdata in i de vanliga 2D CAD formaten, DWG, DXF men även till 3D CAD via IFC. Vid projektets början var möjligheterna att utnyttja ArchiCAD i kombination med FEM starkt begränsade. Nu (2005) finns bland annat programvaran AxisVM<sup>®</sup> som via import av Archicads eget filformat ger möjlighet till FEM-analys av hela byggnader.

SolidWorks (2005) (Använt i versioner 2001 plus, 2002 och 2003,) från Dassault Systems är ett generellt 3D CAD program som i huvudsak använts av maskinkonstruktörer. Programmet läser och skriver bland annat formaten STEP (Exempel i BILAGA 2), AP 203 (Configuration controlled design) och AP 214 (Core Data for Automotive Mechanical Design Processes) vilka också används i andra AP. Programmet stödjer däremot inte IFC-formaten som organiserar byggnadsinformation. Sedan 2003 har användningsområdet breddats och programmet används nu även för exempelvis byggnadskonstruktion. Stödet för IFC formaten saknas dock (Jämför ArchiCAD). Under slutet av 2004 har också ett samarbetsavtal mellan Microsoft och Dassault Systems inletts för att i Windowsmiljö lättfattligt integrera funktioner för 3D-CAD. Genom programmets parametriska modellering erbjuder SolidWorks god möjlighet att i förlängningen skapa en industrianpassad applikation som stöd för tillverkning av exempelvis massivträväggar.

CosmosWorks (2005) ett FEM-program använt i kombination med SolidWorks för hållfasthetsberäkningar (Använt i versioner 7.0 och 2003). Programmet CosmosWorks levereras av Structural Research & Analysis Corporation (SRAC) som är en division inom SolidWorks. Integrationen mellan de två programmen är näst intill fullkomlig och användaren ser normalt inte att det är två separata program. Att företaget vill bredda användningsområdet och hitta nya kunder ses i version 2003 bland annat genom att det tillkommit fördefinierade materialegenskaper för flertalet träslag och nya funktioner för att bättre hantera anisotropa material av typen trä. I version 2005 som lanserats under projektets slutfas har sedan ytterligare nya funktioner lagts till för att enkelt kunna återkoppla resultat från en verklig provning och sedan simulera med materialets eller exempelvis massivträproduktens karaktäristiska egenskaper.

## **Trämateriäl**

Väggelementen i massivträ byggdes av sidobrädor i furu (*Pinus silvestris*) och gran (*Picea abies*). Väggelement ägnade för synligt montage har högre estetiska krav på elementens ytskikt med bland annat krav på skarpkantade brädor. För icke synliga ytor har enbart brädans sammanhållning varit en avgörande faktor. Materialet har alltså inte hållfasthetssorterats och övervägande är den visuella klassningen av sidobrädor motsvarande A1 – A4 eller B (Anon, 1994).

De i fallstudien provade brädorna bedöms ha en väldigt hög kvalité motsvarande A1-A4 (Anon, 1994).

## Skivmaterial

Fiberskivor, våttillverkad hård board eller Wet Hard Board (WHB), tillverkade av Masonite AB i Rundvik användes som förstärkning av spikade väggelement.

Fiberskivorna ger även de spikade elementen ökad vindtäthet. Fiberskivorna var av byggkvalitet med en angiven densitet på  $940 \text{ Kg/m}^3$ . Skivornas tjocklek var 4 eller 8 millimeter, där den senare är hållfasthetsklassad som K40 och därmed uppfyller krav på tillverkning, kontroll och märkning enligt planverkets godkännanderegler (1975:5 Träbaserade Skivmaterial - tillverkning och kontroll).

Fiberskivorna som använts i slipmodulusförsök var av byggkvalitet och enligt tillverkaren lämpade för konstruktioner som kräver extra hög hållfasthet med uppmätt densitet på  $885 \text{ Kg/m}^3$  för skiva med 3,2 millimeter tjocklek och  $940 \text{ Kg/m}^3$  för skiva med 6,4 millimeter tjocklek.

## Spikar

De spikade elementen spikades ihop med spikar av märket Senco®, så kallade "clipped, flat head, smooth shank, strip nail" (Bandad, Slät spik med klippt huvud) av dimension 65 eller 75 x 2.9 millimeter. Spikarna var belagda med Sencote® ett polymersmältlim (Harts-Akryl) som efter montering ökar fästkraften och därigenom spikens utdragningskraft. Spikarna har primärt utvecklats och typgodkänts (TG nr 3276/92) för att ersätta kampsik och även möjliggöra minskad förankringslängd med bibehållen utdragskraft.

## Spikade Väggelement

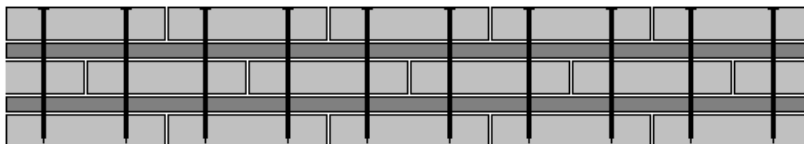
Fyra olika typer tillverkades varav tre av varje, totalt alltså tolv väggar. En väggtyp modifierades senare genom förstärkning på den vid böjprov dragna sidan och genererade därigenom en femte typ. Alla dessa var uppbyggda med sidobräder som överlappar varandra se Figur 4.1 (Jakobsson, 1999). Notera att väggtyp 434U är en variant på väggtyp 434 där 2 centrumbrädor avlägsnats för en eventuell kabel eller rördragning inuti väggelementet.

Alla element var uppbyggda med tre lager sidobrädor och förstärkta med en fiberskiva av byggkvalitet, 4 eller 8 millimeter mellan varje lager av sidobrädor. Dimensioner återfinns i Tabell 4.1. Avvikelsen i tjocklek mellan den verkliga väggen och modellen i CAD berodde på att det i CAD modellen inte existerar någon måttavvikelse och varje bräda placerades dessutom i direkt kontakt med närliggande brädor. Övermått på träkomponenter i den verkliga väggen ökar böjmotståndet och styvhet medan glapp initialt minskar desamma. Ritningar på spikade väggelement återfinns i BILAGA 8 - 11.

Tabell 4.1: Spikade komponenters och väggelementens uppbyggnad och dimensioner. Se även Bilaga 8 – 11.

Väggelement	434	434U	834	820	820B
Typ	<i>Wrapover 3Ply Fiberskiva</i>	<i>Wrapover 3Ply Fiberskiva</i>	<i>Wrapover 3Ply Fiberskiva</i>	<i>Wrapover 3Ply Fiberskiva</i>	<i>Wrapover 3Ply Fiberskiva</i>
Extra lager	<i>2Ply</i>	<i>2Ply</i>	<i>2Ply</i>	<i>2Ply</i>	<i>2Ply</i>
Spikar/m <sup>2</sup>	<i>140 st</i>	<i>140 st</i>	<i>140 st</i>	<i>186 st</i>	<i>186 st</i>
Vakanser	<i>2 Centrumbrädor</i>				
Förstärkning					<i>2 Plankor K24</i>
Längd	2400	2400	2400	3100	3100
Bredd	1200	1200	1200	490	490
Ytbräda	20 x 71	20 x 71	20 x 71	20 x 71	20 x 71
Centrumbräda	34 x 71	34 x 71	34 x 71	20 x 71	20 x 71
K 24 Planka					145 x 45
Fiberskiva	4	4	8	8	8
Verklig tjocklek	84,50	84,30	93,20	79,50	224,50
CAD/FEM					
= Nominell tjocklek	82,00	82,00	90,00	76,00	221,00

Elementen har spikats ihop från ena flatsidan med en jiggmonterad handhållen tryckluftsdreven spikpistol av modell Senco Framepro750 XL. Spikarna applicerades på varje ytbräda i två rader med 200 eller 130 millimeters distans mellan spikarna i varje rad, den ena raden förskjutet cirka 40-50 millimeter enligt mönster i Figur 4.2.



Figur 4.1: Exempel på ett tvärsnitt av omlottlagd massivträvägg med boardskivor mellan de olika brädsikikten. Spikarnas placering i bilden visar hur elementet sammanfogas.



Figur 4.2: Principiellt spikmönster på vägg 434.

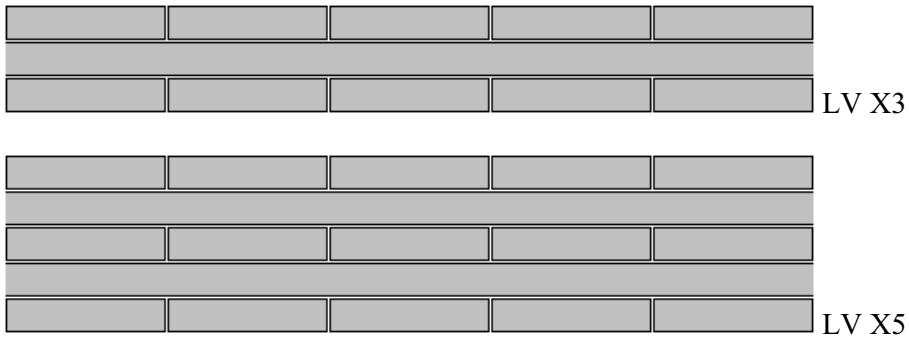
Alla spikade väggelement tillverkades av Norra Massivträ AB (NMTAB) med fabriker i Skellefteå och Umeå. En vägg förstärktes senare i AB Trätek's laboratorium med hjälp av två plankor av gran (*Picea Abies*) med konstruktionskvalitet K24. Plankorna fästes mot väggens baksida stående på högkant och skruvades fast var 200:e millimeter med skruvar av dimension 140\*3,1 millimeter. Detta resulterade i totalt 15 testade väggelement av 5 typer.

### **Limmade Massivträelement**

Totalt provades 12 limmade väggelement av 2 olika typer i AB Trätek' laboratorium

6 stycken massivträväggar av furu var tillverkade med mittskikt av korslagda sidobräder se Figur 5.3 (Jakobsson, 1999) Här kallad LV X3. Alla element var limmande med melaminlim och uppbyggda med tre lager sidobrädor. Dimensioner återfinns i Tabell 4.2. Ritningar på element i BILAGA 3.

6 stycken massivträväggar av gran var också tillverkade med omlottlagda sidobräder med två korslagda mellanskikt. Alla element var limmande med melaminlim och uppbyggda med fem lager sidobrädor här kallad LV X5 se Figur 4.3. Dimensioner återfinns i Tabell 4.2. Ritningar på element i BILAGA 4. Alla limmade väggelement tillverkades av Martinsons AB i Bygdsiljum

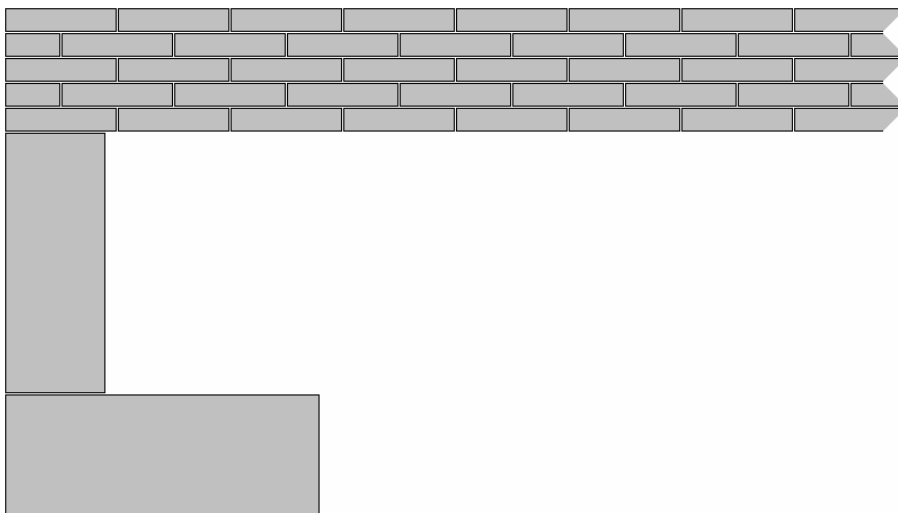


Figur 4.3: Exempel på tvärsnitt av ett limmat korslagd massivträelement i 3 eller 5 skikt.

Tabell 4.2: Limmade komponenters och väggelementens uppbyggnad och dimensioner. Se även Bilaga 3 - 4.

Massivträvägg	<i>LV X3</i>	<i>LV X5</i>
	<i>Korslagd 3Ply</i>	<i>Korslagd 5Ply</i>
<b>Typ</b>		
<b>Längd</b>	2000	2000
<b>Bredd</b>	600	600
<b>Ytbräda</b>	21 x 95	13 x 95
<b>Mellanbräda</b>		13 x 95
<b>Kryssbräda</b>	21 x 95	13 x 95
<b>Verklig tjocklek</b>	63,50	66,00
<b>CAD/FEM</b>		
<b>= Nominell tjocklek</b>	63	66

För att se om FEM även fungerar för andra typer av limmade massivträprodukter tillverkade av massivträ och även öka antalet provade objekt jämfördes även resultaten för 3 massivträbjälklag tillverkade i 2 varianter med omlottlagda sidobränder Figur 4.4 (Jakobsson, 1999). Alla element var i grunden uppbyggda som en skiva av omlottlagda sidobränder i tre eller fem lager. Skivan var sedan på ena (dragna) sidan förstärkt med 5 eller 2 liv med fläns. Dimensioner återfinns i Tabell 4.3. Ritningar på element återfinns i BILAGA 5 - 7. Alla limmade bjälklagselement tillverkades av Martinsons AB i Bygdsiljum.



Figur 4.4: Exempel på tvärsnitt av ett omlottlagt 5 skikts massivträbjälklag med liv och fläns av limträ.

Tabell 4.3: Limmade komponenters och bjälklagselementens uppbyggnad och dimensioner. Se även Bilaga 5 - 7

Bjälklag	<i>KB T1</i>	<i>KB T2</i>	<i>KB T3</i>
Typ	<i>Wrapover 3Ply</i>	<i>Wrapover 5Ply</i>	<i>Wrapover 3Ply</i>
Förstärkning	<i>5 Liv</i>	<i>2 Liv</i>	<i>2 Liv</i>
Längd	11800	7317	7620
Bredd	1200	1200	1200
Ytbräda	17 x 71	13 x 71	19 x 71
Centrumbräda	35 x 71	13 x 71	35 x 71
Liv L 40	360 x 45	175 x 65	143 x 66
Fläns L 40	56 x 75/150	90 x 200	113 x 225

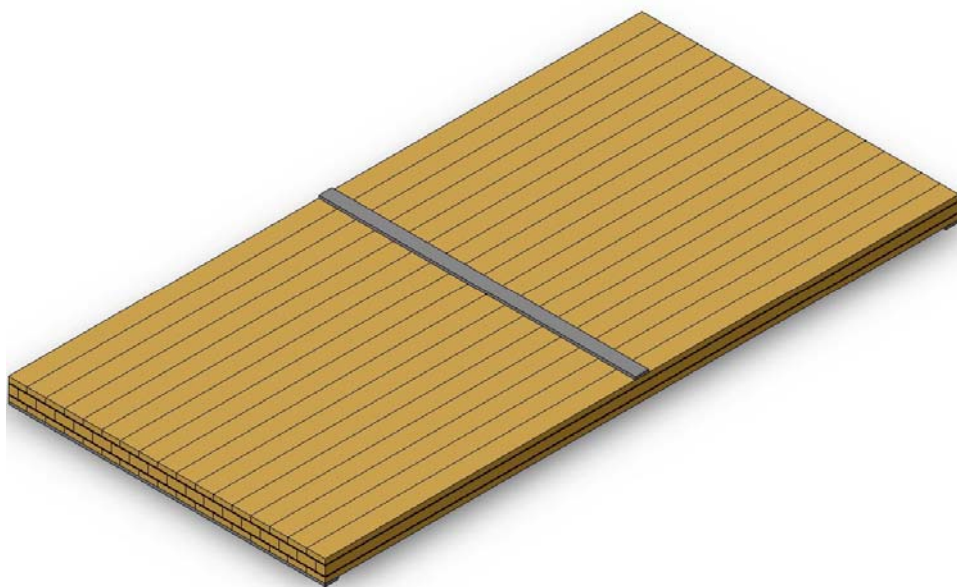
## 4.2 Test av massivträelement i Laboratorium

Elementens böjstyvhet testades i AB Trätek's laboratorium i Skellefteå. Test gjordes vid en temperatur av  $20\text{ C} \pm 3$  (95 %) och relativ fuktighet  $33\% \pm 3$  (95 %). Testet utfördes som ett tre punkts böjprov (se Figur 4.5) med maximal distans mellan stöd enligt Tabell 4.4. Observera dock att element 820 och 820B vilkas längd är 3100 millimeter böjprovats med samma avstånd mellan stöd som de 2400 millimeter långa väggelementen 434 och 834.

Tabell 4.4: Distans mellan stöd vid böjprovning.

Typ av Massvträelement	434	820	LV X3	KB T1	KB T2	KB T3
	834	820B	LV X5	5Liv	2Liv	2Liv
Distans (mm)	2300	2300	1900	11800	7317	7620

Lasten applicerades som en linjelast med hjälp av en hydraulisk press mitt emellan stöden ( $L/2$ ) via ett 100 mm brett plattjärn. Lasten tillförs så att förskjutningen mitt emellan stöden blir 8 till 12 millimeter per minut. Förskjutningen och lasten registrerades under alla prov med hjälp av en fristående PC med Windows®, programvara från Measurements System samt en lastcell (Omegadyne Inc, LC412-25K).



Figur 4.5: CAD/FEM-modell och schematisk provuppställning av spikat väggelement 434 med plattjärn som stöd vid upplagen och på mitten där kraften appliceras.

### 4.3 Finit Element Modell

För att göra en FEM-analys av väggelementen ritades de upp i 3D-CAD med hjälp av Solid Works. Finit element analys utfördes sedan på en solidmodell av hela väggelementet med hjälp av Cosmos Works. Solid Works/Cosmos Works är ett integrerat paket med CAD and FEM-verktyg för solida element. Jämförelse mellan resultaten från laborieförsök och simuleringar användes sedan för utvärdering av den förenklade datormodellen.



Förberedelser innan användandet av FE-modellen gjordes utifrån råd av (Ottosen, Petersson, 1992) Vid analysen användes linjärt elastiskt material och delar av trä modellerades som homogena bitar med ortotropa materialegenskaper dvs. möjlighet till olika egenskaper i tre riktningar. Trämaterialet modellerades på makroskopisk nivå och ingen hänsyn togs till små defekter som sprickor, kvist, fiberstörningar etc. Trots att sidobrädorna hade näst intill liggande årsringar (Figur 5.4) på grund av att de återfunnits nära mantelytan i stocken användes likadana materialegenskaper i radiell och tangentiell riktning (Anon, 1998). Alla väggelement modellerades med full kontakt mellan komponenter, igen glidning tilläts mellan de enskilda komponenterna vilket mer liknar förhållandet vid limning där limmets hållfasthet överstiger träets. Ingen modellering av enskilda spikar eller spikförband med glidningar utfördes vid test av de spikade väggarna.

Materialegenskaper på sidobrädor som användes vid tillverkning av massiva väggelement med avseende på E-modul och hållfasthet mättes, och dessa överensstämde väl med egenskaper hos trämaterial klassat som K35 enligt Boverkets konstruktionsregler (Anon, 1998). Dessa värden användes därför i modelleringen.

Styvhet och andra materialegenskaper som använts i studien återfinns i tabell 4.5. Träets X, Y och Z koordinater kan översättas till radiell, tangentiell och longitudinell riktning.

Tabell 4.5: Materialegenskaper, Karaktäristiska värden i MPa. (Anon, 1998)

Trä (K35)	Trä (K24)	Trä (K12)	Board (K40)
$E_X = 430$	$E_X = 350$	$E_X = 250$	$E_X = 5000$
$E_Y = 430$	$E_Y = 350$	$E_Y = 250$	$E_Y = 5000$
$E_Z = 13000$	$E_Z = 10500$	$E_Z = 8000$	$E_Z = 5000$
$G_{XY} = 81$	$G_{XY} = 70$	$G_{XY} = 50$	$G_{XY} = 2100$
$G_{XZ} = 810$	$G_{XZ} = 700$	$G_{XZ} = 500$	$G_{XZ} = 2100$
$G_{YZ} = 810$	$G_{YZ} = 700$	$G_{YZ} = 500$	$G_{YZ} = 2100$
$\nu_{XY} = 0,4$	$\nu_{XY} = 0,4$	$\nu_{XY} = 0,4$	$\nu_{XY} = 0,28$
$\nu_{XZ} = 0,025$	$\nu_{XZ} = 0,025$	$\nu_{XZ} = 0,025$	$\nu_{XZ} = 0,28$
$\nu_{YZ} = 0,025$	$\nu_{YZ} = 0,025$	$\nu_{YZ} = 0,025$	$\nu_{YZ} = 0,28$

Spänning - töjning relation för ortotropa material är

$$\begin{pmatrix} \epsilon_{XX} \\ \epsilon_{YY} \\ \epsilon_{ZZ} \\ \gamma_{XY} \\ \gamma_{YZ} \\ \gamma_{XZ} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/E_X & -\nu_{XY}/E_Y & -\nu_{XZ}/E_Z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{XY}/E_X & 1/E_Y & -\nu_{XZ}/E_Z & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{XZ}/E_X & -\nu_{YZ}/E_Y & 1/E_Z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{XY} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{XZ} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{YZ} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{XX} \\ \sigma_{YY} \\ \sigma_{ZZ} \\ \tau_{XY} \\ \tau_{YZ} \\ \tau_{XZ} \end{pmatrix}$$

Första steget vid en FEM-analys är att välja typ av nodelement som skall användas och noggrannheten (maskstorleken) hos den mesh (nätet) som programmet skall använda. Man kan också ange hur krafter överförs (interaktion) mellan nodpunkter i meshen. Typen av interaktion i ytligt liggande nodpunkter på komponenterna beror på om väggelementets komponenter är limmade eller spikade. Spikar skulle vid FEM-beräkningen med en mer avancerad modell fungera som seriekopplade fjädrar med en specifik styvhet (elastisk deformation) i en kombination med viskösa dämpare (plastisk deformation) (Ottosen, Petersson, 1992) och stöddas av friktionskrafter mellan spik och trä samt mellan enskilda träkomponenter. Limning å andra sidan resulterar i en direktkontakt mellan komponenter beroende på limmets högre styrka relativt trä. I denna del av fallstudien har enskilda spikar inte modellerats då målsättningen varit att jämföra resultat från laborietest och en förenklad CAD/FEM-modell. Randvillkoren och kraftfördelningen för analysen sätts genom att kopiera utformningen av testet i laboriet. Elementtyp och maskstorlek som används i FE-meshen ges sedan automatiskt av programmet utifrån objektens volym och yta, dessa rekommenderade värden används.

Finit element modellering ger per definition ett problem med ett stort antal ekvationer som måste lösas samtidigt, detta kan göras på två olika sätt, direkt eller iterativt. De två angreppssätten ger ungefär samma resultat vid mindre problem upp till ungefär 25000 frihetsgrader, vid större problem skiljer resultaten något och prestanda i form av minnesanvändning och tidsåtgång varierar stort (några minuter kontra några timmar i beräkningstid). Vid simuleringen användes även här de av programmen förvalda värdena och den snabbare iterativa lösningen för att se om programmet, som är materialneutralt ger tillräckligt bra resultat när man räknar på trä.

#### **4.4 Resultat från provning och FEM**

##### **Limmade massivtréväggar**

Vid beräkningar i FEM på limmade väggar av typ LV X3, LV X5 och används materialegenskaper för konstruktionsvirke K35 som hämtats ur BKR (Anon, 1998). Ingen geometrisk förenkling görs i modellen utan alla brädor definieras och hanteras var för sig.

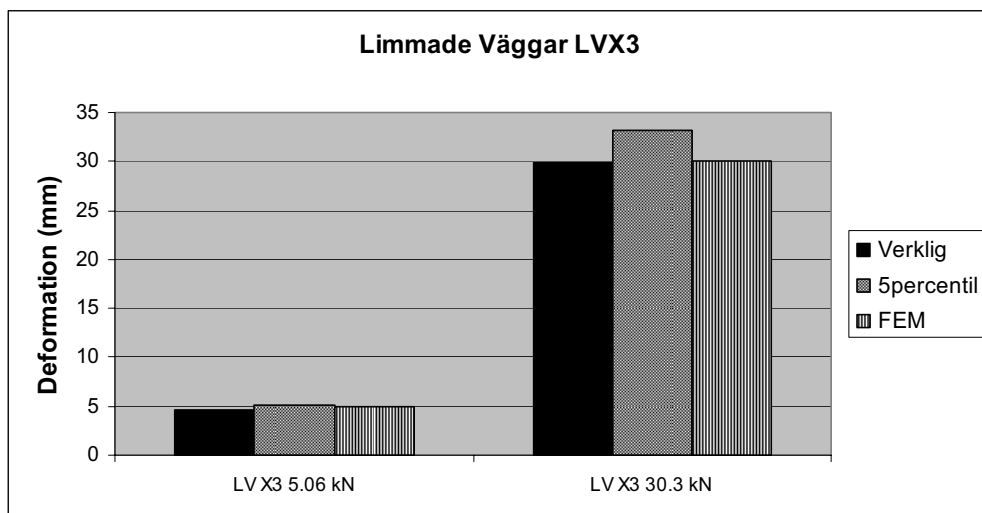
FEM-beräkningen på LV X3 och LV X5 visar på något svagare väggelement än det är i verkligheten (Tabell 4.6 och 4.7 samt Figur 4.6 och 4.7) vilket delvis kan förklaras genom att det verkliga väggelementet är 5 millimeter tjockare än den CAD modell som FEM beräkningen baseras på. Tyvärr är antalet väggar litet och om i stället 5:e percentilen för verklig deformation får vara det värde som gäller kommer dock FEM beräkningen att visa en något för stark limmad massivtrévägg av typen LV X3. Förutsägelsen för typen LV X5 är däremot nästan perfekt.

Tabell 4.6: Verklig utböjning i jämförelse med FEM för massivträvägg av typ LV X3

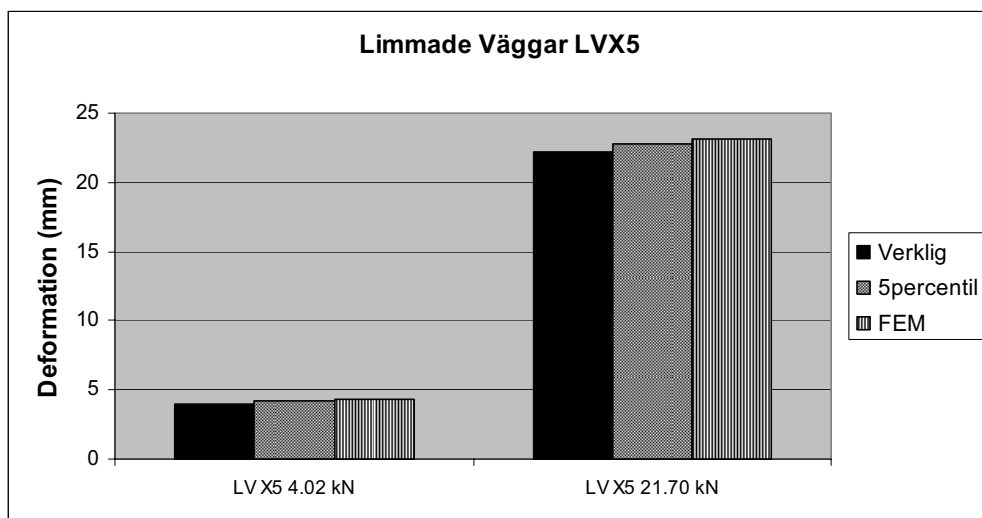
Massivträvägg LV X3	<i>Medel</i>	<i>Stdav</i>	<i>5percentil</i>	
Resultat vid lastfall	<i>Real</i>	<i>Real</i>	<i>Real</i>	<i>FEM</i>
5.06 kN	4,68	0,3	5,09	5,02
30.3 kN	29,94	2,15	33,14	30,08

Tabell 4.7: Verklig utböjning i jämförelse med FEM för massivträvägg av typ LV X5

Massivträvägg LV X5	<i>Medel</i>	<i>Stdav.</i>	<i>5percentil</i>	
Resultat vid lastfall	<i>Real</i>	<i>Real</i>	<i>Real</i>	<i>FEM</i>
4,02 kN	3,94	0,32	4,25	4,28
21,7 kN	22,21	0,59	22,73	23,12



Figur 4.6: Uppmätt förskjutning för vägg LV X3 jämfört med FEM-beräkning.



Figur 4.7: Uppmätt förskjutning (medelvärde) för vägg LV X5 jämfört med FEM-beräkning.

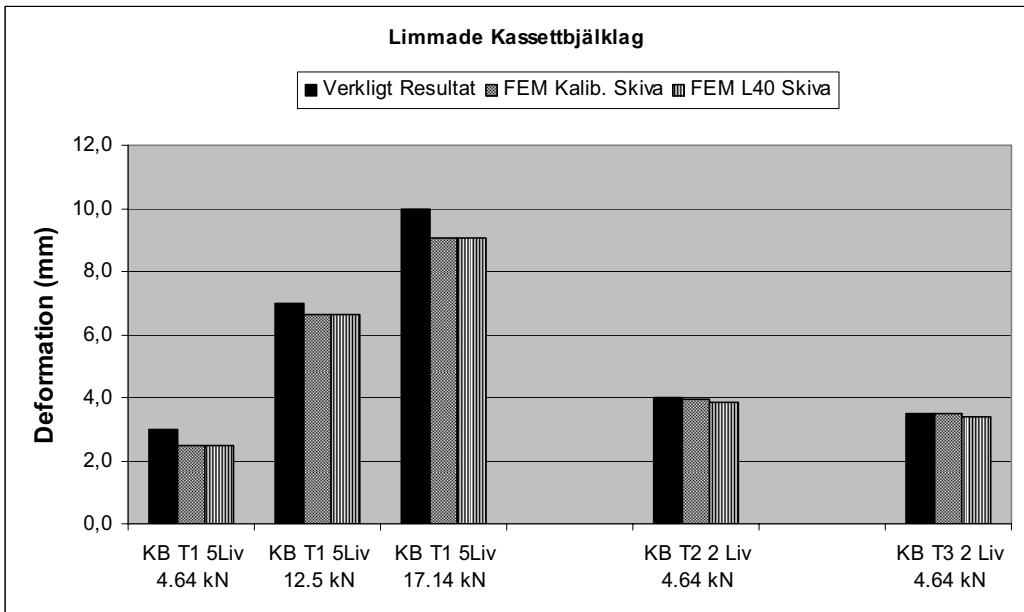
### Limmade kassetbjälklag

Vid beräkningen i FEM provas två olika materialegenskaper på den omlottlagda skivan som i beräkningen hanteras som en enda komponent. Dels karaktäristiska värden för limträ, L40 som hämtats ur BKR (Anon, 1998), dels skivans uppmätta egenskaper (Nedan benämnd Kalibrerad Skiva).

Skillnaden mellan beräknade och på elementet uppmätta värden är dock liten vilket avspeglas i Tabell 4.8 och Figur 4.8. Resultaten från FEM analyser visar att väggelementens förskjutningar är något mindre än de verkliga förskjutningarna vid provningen.

Tabell 4.8: Verklig utböjning i jämförelse med FEM för olika kassetbjälklag.

Kassetbjälklag	KB T1	KB T1	KB T1	KB T2	KB T2	KB T2	KB T3	KB T3	KB T3
Resultat vid lastfall	Real	Kalib. Skiva	L40 Skiva	Real	Kalib. Skiva	L40 Skiva	Real	Kalib. Skiva	L40 Skiva
4,64 kN	3,0	2,5	2,5	4,0	4,0	3,8	3,5	3,5	3,4
12,5 kN	7,0	6,6	6,6						
17,14 kN	10,0	9,1	9,1						



Figur 4.8: Uppmätt förskjutning (medelvärde) jämfört med FEM beräkningar.

### Spikade massivträväggar

Resultat från FEM-analys av spikade väggar, se Tabell 4.9 och Figur 4.9 visar att med i BKR (Anon, 1998) tabellerade materialegenskaper för K35<sup>4</sup> så är väggelementens förskjutningar i FEM avsevärt mycket mindre än de verkliga förskjutningarna vid provningen.

Skillnaden mellan laborietest och FEM beror sannolikt på modellens förenklingar med hänvisning till FEM-programmets (version 2003, SP 1.2) begränsningar i att beskriva förbandet mellan bräd- och skivlager samt interaktionen mellan trä och spik. En annan förklaring kan vara måttavvikelser som trämaterial har och att det därmed finns ett initialt glapp mellan massivträväggens ingående träkomponenter. Initialt glapp kan också uppstå vid produktionen (sammanläggningen) av de spikade elementen.

<sup>4</sup> Egenskaperna för träkomponenter som används i massivträväggar har mätts (Gustafsson & Jakobsson, 2002) och materialegenskaperna överträffar där tabellerade (BKR 1999, 1998) värden för K35.

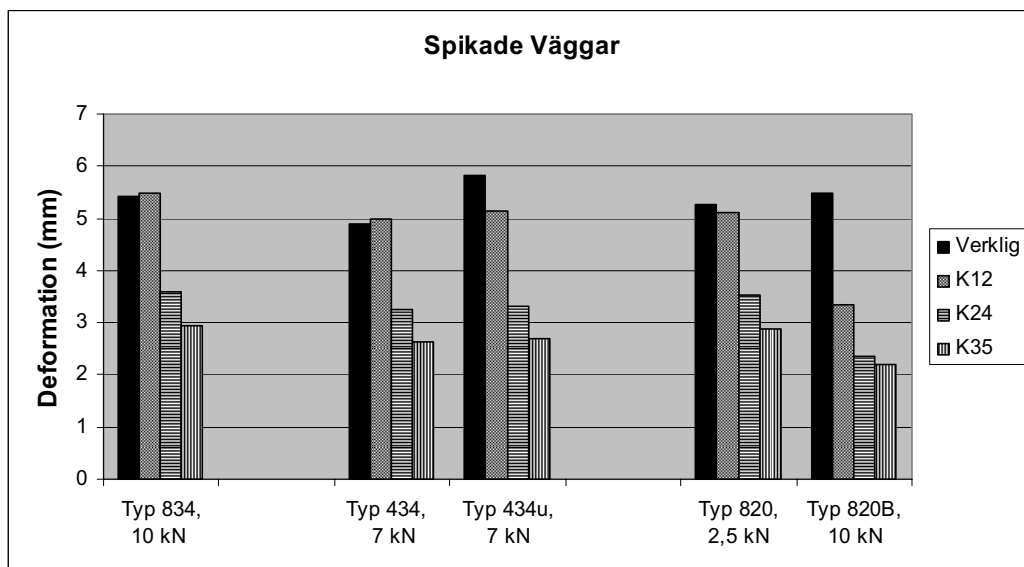
Tabell 4.9: Verklig utböjning i jämförelse med FEM för spikade väggar.

Massivträvägg Resultat vid lastfall	434		434U		834		820		820B	
	434	FEM	434U	FEM	834	FEM	820	FEM	820B	FEM
	Real	K35	Real	K35	Real	K35	Real	K35	Real	K35
1 kN							1,8	1,15		
2,5 kN							5,26	2,88		
5 kN	3	1,89	3,6	1,91	2,18	1,48			2,1	0,93
7 kN	4,9	2,65	5,8	2,67						
10 kN					5,4	2,95			5,5	1,86

#### 4.5 Känslighetsanalys av spikade väggelement

##### Materialegenskaper

Ett spikförbands eftergivlighet försämrar väggens hållfasthetsegenskaper då förbandet är sämre än motsvarande limförband när det gäller att direkt överföra krafter och moment. Massivträväggens böjmotstånd blir sämre i och med att de olika skikten bland annat glider på varandra. I ett försök att se effekten av detta provades materialvärden och egenskaper från två andra kvalitetsklasser, K12 och K24. I Figur 4.9 överensstämmer resultaten från FEM och laboratorieförsök bättre om träet i väggelementet tilldelas egenskaper motsvarande K12. Detta gäller dock inte för väggtyp 820B som senare förstärkts på dragna sidan med två på högkant fastskruvade plankor av K24 kvalitet.



Figur 4.9: Uppmätt förskjutning i medeltal mot FEM beräkningar utifrån olika laster och tre olika materialegenskaper.

## Förenkling av modellen

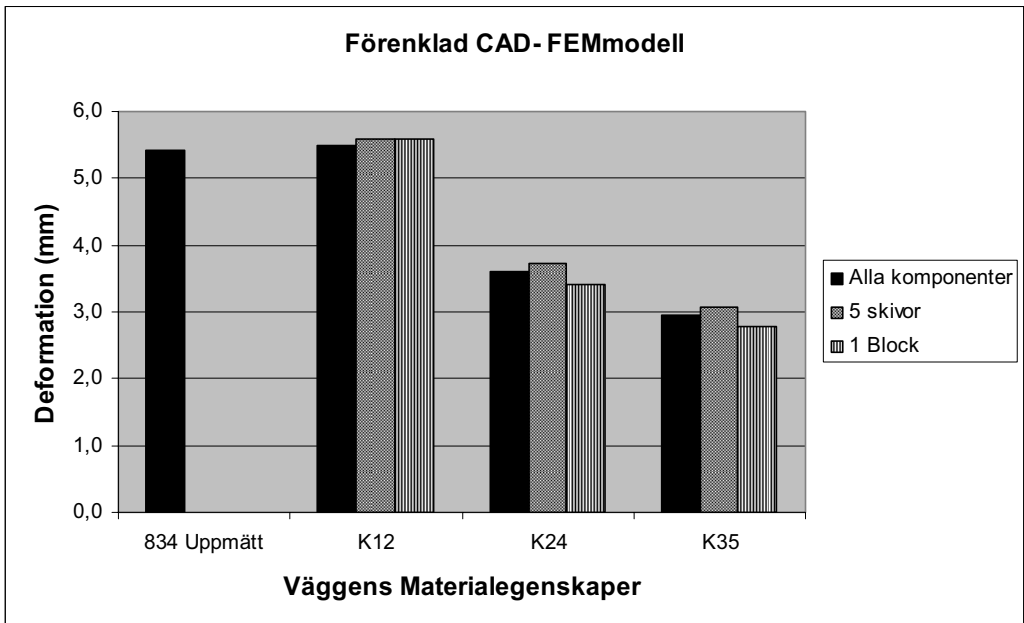
I den första simuleringen som gjordes definierades alla enskilda komponenter vilket vid FEM beräkningen ger många noder och element, detta ger ett större och mer komplicerat matematiskt problem som ska lösas med längre beräkningstid som följd. Vid beräkning på trä och i synnerhet limträ används ofta produkternas makroegenskaper vilket ger förenklade beräkningar och ett sätt att ytterligare förenkla modellen och ändå försöka bibehålla noggrannhet är att varje lager (5 stycken) i väggen definieras separat eller i extremfallet att hela väggen definieras som ett massivt block med träegenskaper. Skillnaden i antalet noder och element mellan de olika alternativen ses i Tabell 4.10. Skillnaden i beräkningstid mellan de två första alternativen är för denna enkla modell oväsentlig men ger en indikation på hur mycket en förenklad modell förenklar modelleringen.

Ytterligare två simuleringar gjordes därför där nedböjningen av väggtyp 834 beräknades. Programmet väljer automatiskt elementstorlek och medelvärdet på förvald elementstorlek är i samtliga fall 63,91 mm med variation 5 %.

Tabell 4.10: Antal noder, element och parter i förhållande till modellens grad av förenkling.

<i>Vägg 834</i>	<i>Antal Noder</i>	<i>Antal Element</i>	<i>Antal Parter</i>
Alla komponenter	38826	25443	57
5 Block	36295	23978	8
1 Block	10672	5393	4

Observera att i fallet med 1 block används inte boardskivans egenskaper utan hela blocket erhåller träegenskaper vilka är bättre och därmed ger en styvare vägg. Även i detta fall fås god överensstämmelse mellan resultat från FEM och prov om väggens makroegenskaper motsvarar värden hos K12 (Figur 4.10). Notera dock likheten hos resultaten från olika grad av förenkling av FEM-modellen.



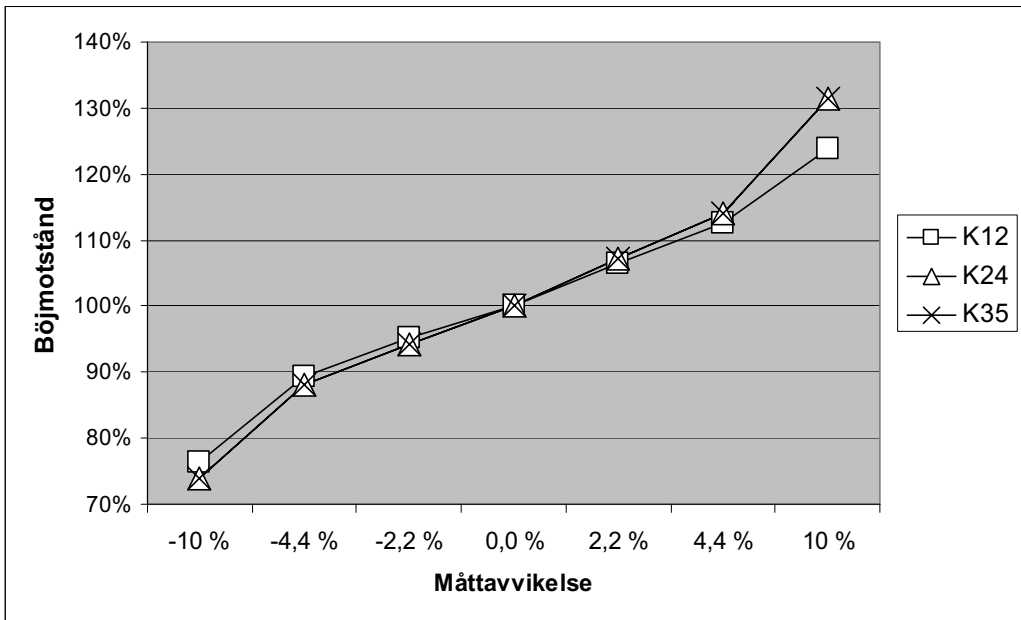
Figur 4.10: Uppmätt förskjutning (medelvärde) hos vägg 834 mot FEM beräkningar utifrån olika grad av förenkling och materialegenskaper.

### Måttnoggrannhet

Vid tillverkningen av massivträväggar används hyvlat virke och måttnoggrannheten hos trämaterialiet är bland annat kopplat till sågens/hyvleriets maskinpark, matningshastighet och underhåll av verktyg. Dimensionsstabiliteten hos sågade trävaror är också lite speciell då materialets dimensioner varierar beroende på fuktinnehåll. Hänsyn måste alltså tas till trämaterialiets svällning/krympning vid torkning.

I Tabell 4.1. (Komponenters och väggelementens dimensioner) kan vi se att alla väggelement är runt 3 % tjockare än de som använts i CAD/FEM. I ett försök att få överblick på böjmotståndets beroende eller variation beroende på avvikande dimensioner från nominella mått så gjordes en simulering av en vägg med över och undermått på totala tjockleken. Resultat enligt Figur 4.11.





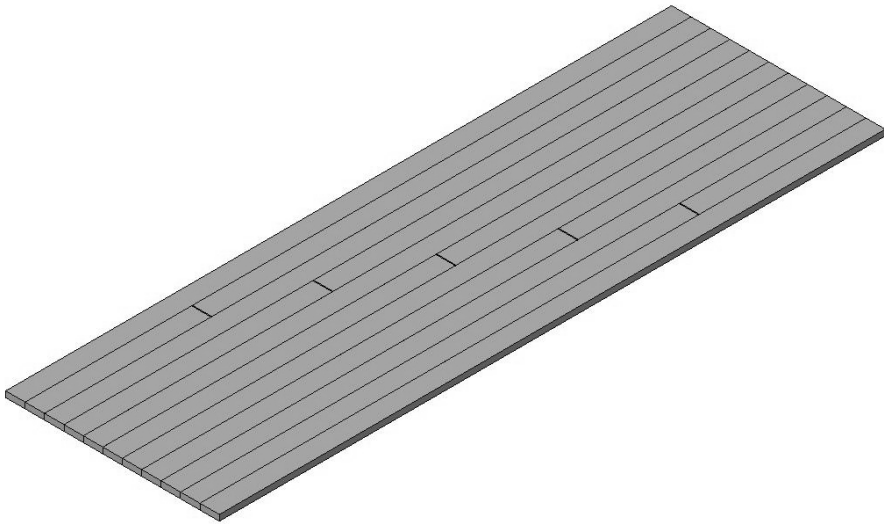
Figur 4.11: Böjmotståndets beroende på måttavvikelse.

I och med tjockleken inverkar stort vid beräkning av massivträelementets böjmotstånd innebär det att övermättet på 3 % nästan ger en 10 % ökning i böjstyvhet.

### Stumskarvar i byggelement.

Eftersom man inte fingerskarvar brädorna förekommer det ett okänt antal stumskarvar i de testade massivträväggarna. Hur dessa stumskarvar påverkar resultatet med avseende på nedböjning undersöktes vid ett prov (Gustafsson, Jakobsson, 2002) utfört i samband med Trätek's utvecklingsarbete av massivträväggar och massivträbjälklag. För att få fram en reduktionsfaktor har först ett antal hela skivors styvhet, utan stumskarvar, mätts. Därefter har skivornas styvhet mätts med ett inslitsat spår på den dragna sidan motsvarande en stumskarv. Slitsen centerades i längs och breddled. Ytterligare 4 spår har sedan gjorts (se figur 4.12) på den dragna sidan med 30 centimeters inbördes förskjutning i längdled och jämt fördelad över skivans bredd.

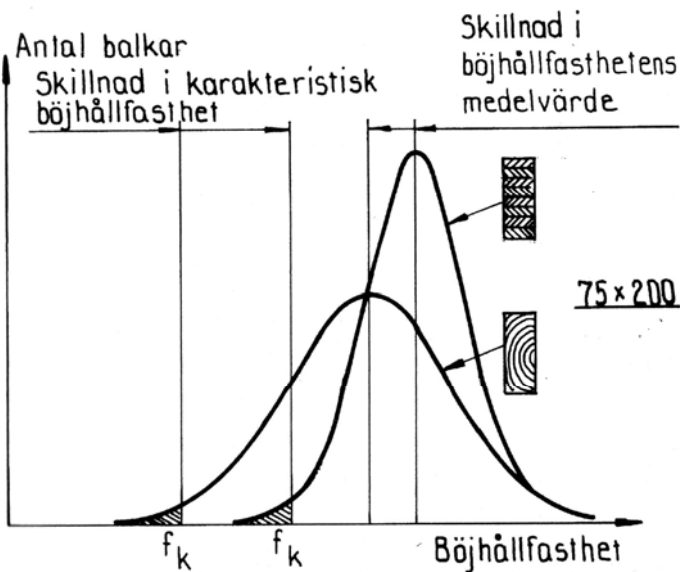
Mätning av styvhet och brottlast har sedan gjorts. En rekommenderad reduktionsfaktor för elasticitetsmodulen i styva riktningen har efter detta test angetts till 0,9 för skivor med 5 skikt och 0,87 för skivor med 3 skikt. Enligt undersökningen är också förutsättningen för ovanstående att stumskarvar är så täta att de direkt kan överföra last på den tryckta sidan. Om detta inte kan uppfyllas vid produktion måste värdet på reduktionsfaktorn minskas ytterligare.



Figur 4.12: Väggelementets ytbrädsnitt på dragna sidan med 5 stycken inslitsade spår (Principskiss).

#### **4.6 Diskussion**

Överensstämmelsen mellan resultaten från FEM och laboratorieförsök för limmade massivträelement är god. Detta kan förklaras med att elementen är likt limträ relativt homogena då de varierande egenskaperna och defekterna som förekommer i de enskilda komponenterna fördelas ut i hela massivträväggens volym (Figur 4.13). Kontakten mellan de enskilda komponenterna är genom limfogarna direkt och utan glidning och beräkningar med för limträ tabellerade eller uppmätta materialegenskaper fungerar då bra. Limförbandet ger också ett material som både mikro och makroskopiskt uppträder linjärt vid måttliga laster.



Figur 4.13: Principiell skillnad i materialegenskaper för enskilda träkomponenter och limträ (Svenskt Limträ, 2005).

Överensstämmelsen med resultat för de spikade massivträelementen är däremot mindre god trots att träkomponenternas varierande egenskaper och defekter fördelas ut i hela massivträväggens volym (Figur 4.13) liksom limmade massivträelement. Detta kan bland annat förklaras med att elementen fungerar som ett stort spik-träförband. Massivträelementet med dess stora antal "lösa" komponenter är dessutom inte homogent och har för Finit Element modellering, komplicerade elastisk-plastiska förband i kontakten mellan spik och trä.

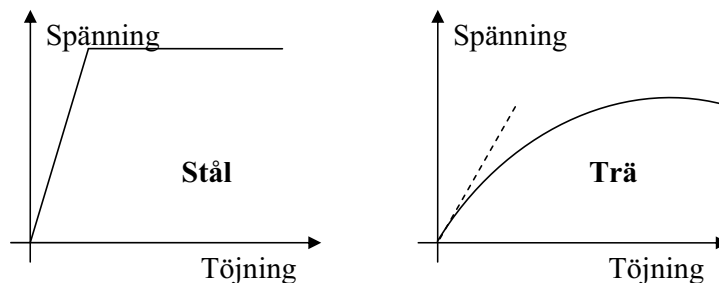
Komplexiteten belyses bland annat av Foschi och Bonac (1977) som t.ex. visat att även om den lastbärande kapaciteten per spik kan beräknas enligt Johansens teorier (Johansen, 1949) så kan hela spikförbandets eller systemets, i detta fall hela massivträväggens last-förskjutningskaraktäristik (load-slip) **inte** förutses med hjälp av icke linjär Finit Element modellering.

Svårigheten att förutsäga förbandets "systemegenskaper" beror på ett flertal orsaker där Blass H. J (2003) menar att trä-spikförbandets och därmed väggens 3 avgörande egenskaper för bärförmåga och beteende är:

- Spikens böjkapacitet som beror på diameter och flytledsmoment. Totala kapaciteten för plastisk deformation är också viktig för stora förskjutningar.
- Trämaterialets hålkantshållfasthet som till största del beror på densitet.
- Spikens utdragskraft, som kan ökas genom rillor, kammar eller belimning.

Spikarnas egenskaper kan med god noggrannhet (relativt trä) mätas och beräknas genom laboriemässig provning. Korrekta materialvärden och egenskaper för trä är dock svårare för att inte säga omöjliga att exakt förutsäga i och med träets variabilitet som kommer av anisotropi och den naturligt biologiska variationen. Hålkantshållfasthet beror som nämnts till stor del av densiteten men måste i praktiken skattas liksom exempelvis E-modul som ett rimligt medelvärde då de enskilda träkomponenterna som används i massivträväggen endast sorteras efter utseende. Genom det stora antalet ytbrädor som ingår i massivträväggen kan detta ändå resultera i ett för användningen relevant värde med relativt liten spridning (Figur 4.13). Den enskilda spikens utdragskraft är möjlig att mäta men även här uppstår praktiska problem då medelvärden i så fall måste användas vid beräkningar i FEM.

Ytterligare svårigheter vid modellering är att de olika ingående komponenterna i förbandet belastas olika och därtill har inbördes stor skillnad i E-modul, bärförmåga och flytegenskaper (Figur 4.14, BILAGA 12)



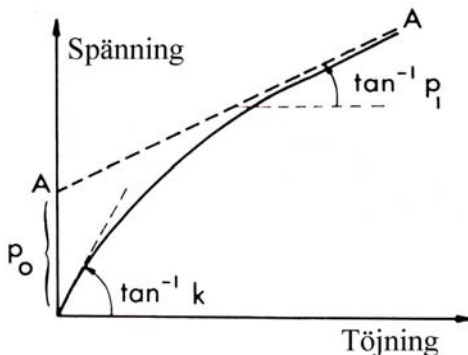
Figur 4.14: Principiell skillnad i materialegenskaper för stål och trä

I den starkt förenklade FEM-modellen används trots detta ändå materialegenskaper för linjära elastiska material. I CAD modellen av de spikade väggelementen som FEM-beräkningen baseras på finns heller inga glapp mellan komponenter vilket inte är korrekt då man initialt har ett mindre spel eller motsatsen, en "krymppassning" mellan några av de komponenter som ingår i de spikade väggelementen. Modelleringen av interaktionen (friktion) som vid skjuvning eller böjning uppstår mellan de olika lagren är alltså också starkt förenklad i och med programmets begränsningar och bristande indata.

Andra forskare, Kuenzi (1955) Norén (1962) Wilkinson (1971) har tidigare gjort försök att beräkna de initialt styva egenskaperna i spikade förband där förenklingen av verkligheten har varit att spiken behandlas som en balk på ett elastiskt underlag där det alltså förutsätts vara elastiska egenskaper i båda material. Elasticiteten i spiken och träet leder då till en elastisk respons som också kan påvisas vid experiment men som då endast gäller vid väldigt små förskjutningar se Figur 4.14.

I verkligheten krossas trämaterialen under trycket från spiken och spiken deformeras dessutom plastiskt genom att en eller flera flytleder initieras (Figur 5.11). Interaktionen mellan trä och spik är alltså ett elastisk-plastiskt problem och måste behandlas som ett sådant.

Foschi och Bonac (1977) har till viss del beaktat detta och via experiment beräknat 3 olika variabler att beskriva trämaterialens egenskaper.  $k$  är då en riktningskoefficient vid initialt elastisk töjning,  $p_1$  och  $p_0$  när plastisk deformation uppstått vid större förskjutningar (Figur 4.15).



Figur 4:15: Stål och träförbandets egenskaper beskrivet med hjälp av tre variabler enligt Foschi och Bonac (1977)

Wilkinson (1986) har i bultförband visat på en så kallad Group Effect som gäller för den kraftfördelning som uppstår i ett bultförband där 2, 3, 5 eller 7 stycken bultar placeras i rad och belastas vinkelrätt mot bultarnas längdaxel. Denna effekt resulterar i att förbandets totala lastbärande förmåga med flera bultar är mindre än summan av de enskilda bultarnas lastbärande förmåga. Sammantaget innebär detta att bidraget från varje enskild bult blir mindre ju större antal vi har i förbandet. Detta beror bland annat på att bultarna belastas olika i förbandet genom varierande flytleddsmoment i bultarna, skillnader i trädensitet och egenskaper inom förbandet, fuktkvotsvariation och därmed variation i de enskilda bultarnas last-förskjutningskaraktäristik (load-slip) som också är beroende på det enskilda förbandets tillverkningsförfarande.

Wilkinson presenterar trots dessa svårigheter att mäta och styra egenskaper en analytisk metod vilken dock kräver att load-slip för varje enskild bult finns tillgänglig. Jämför med Foschi och Bonac (1977).

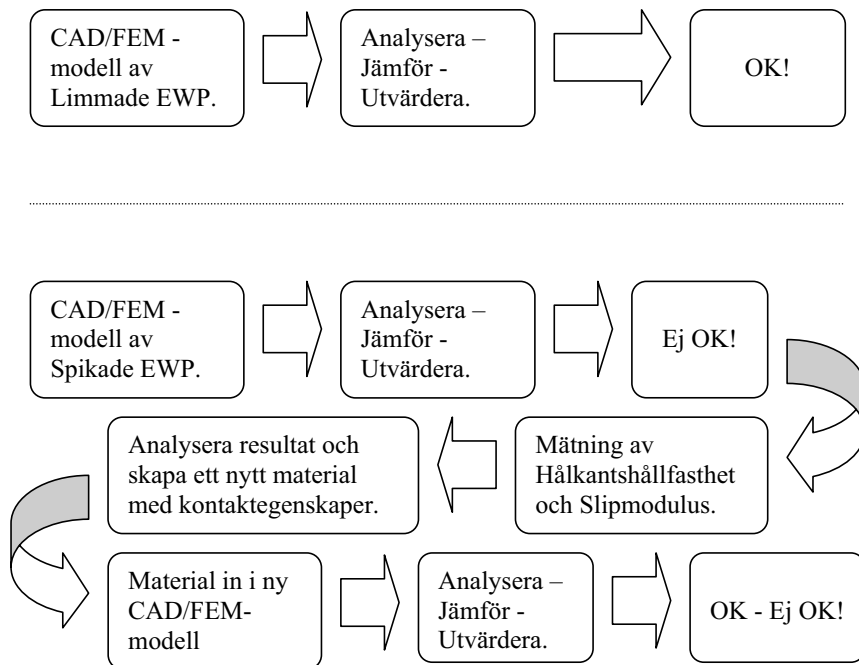
Denna ”Group Effect” återfinns sannolikt även i de spikade testade massivträväggarna i och med att spikarna radats upp och dessutom i mönster enligt figur 4.2. Om denna effekt förekommer, och hur effekten i så fall påverkar de enskilda spikarnas lastbärande förmåga är i vårt fall svårt att förutse eller mäta. Andra

lösningmetoder måste t.ex. tas fram i och med det orimliga i att praktiskt mäta load-slip förhållanden för en massivträväg med runt 140 spikar per kvadratmeter.

Kupiers och Van der Put (1982) har också visat att spikar med räfflad yta och långa förankringslängder kan nå upp till 2,6 gånger de värden som erhålls vid teoretiska beräkningar av lastbärande förmåga enligt bland annat Eurocode 5. Spikarna som användes i dessa försök var som tidigare nämnts belagda med Sencote® ett polymersmältlim som efter montering ökar fästkraften och därigenom spikens utdragningskraft. Spikarna har primärt utvecklats för att ersätta just räfflad kamspik och då även möjliggöra minskad förankringslängd med bibehållen utdragskraft. Spikarna i testade väggelement och i slipmodulus försök har i sammanhanget långa förankringslängder och omfattas då av detta.

#### 4.7 Ny plan för att kringgå verktygets brister.

Det största bidraget till ett felaktigt resultat är alltså modelleringen av det elastisk-plastiska förbandet. Att på ett ingenjörsmässigt sätt lösa problematiken eller i alla fall visa på sätt att kringgå svårigheter med spikade massivträväggar i kombination med programpaketets begränsningar kräver därför en ny plan (Figur 4.16) där vi genom standardiserade metoder tar fram egenskaper för dessa spikade förband. Utifrån beräknade egenskaper skapas sedan ett nytt fiktivt material med kontaktegenskaper för just denna massivträprodukt.



Figur 4.16: Ny plan för utvärdering av CAD/FEM verktyget för spikade förband.

## 5 Fördjupad studie av spikade förband

För att närmare kunna undersöka spikförbandet och dess uppförande i den spikade massivträväggen så gjordes mätningar på ett flertal mindre provbitar. Efter dokumentation av träkomponenternas enskilda egenskaper och geometrier gjordes ett EN 383 test i Luleå tekniska universitets laboratorium i Luleå där hålkantshållfastheten bestämdes enligt nämnd standard. Sedan mättes även spikskjuvningen eller spikförbandets deformationskaraktäristik (med eller utan board emellan) enligt EN 1380 i AB Trätek's laboratorium i Skellefteå.

### 5.1 Metoder och Standarder

Standard EN408 E-modul (E-modulus)

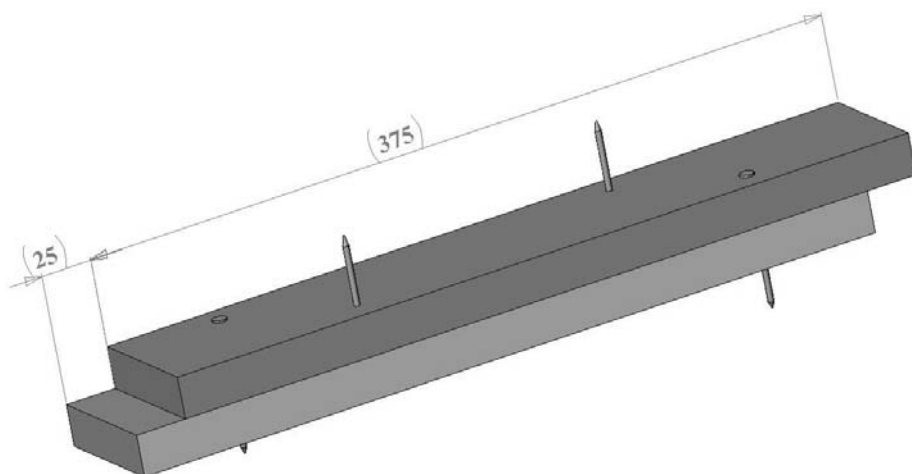
Standard EN383 Hålkantshållfasthet (Embedment strenght and foundation values for dowel type fasteners)

Standard EN1380 Spikskjuvning (Slip-modulus) med beräkningar enligt Standard EN 26891.

### 5.2 Försöksdesign

#### Provkroppen

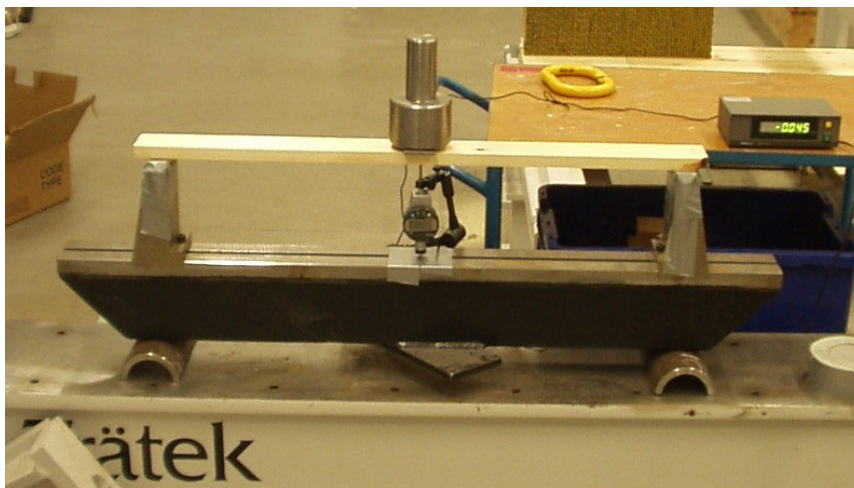
Provkroppen, se Figur 5.1 tillverkades för att i möjligaste mån efterlikna spikförbandet i de provade massivträväggarna Figur 4.2. Provbiten var geometriskt relativt enkel och de ursprungliga måtten på brädornas bredd och tjocklek behölls.



Figur 5.1: Provbiten med två brädor och fyra spikar.

## Material till provkroppar

Företaget Norra Massivträ levererade ett antal kortare brädor för tillverkning av provbitar. Bitarna var brädor som normalt används vid produktion av massivträväggar. Brädbitarna var mellan 860 och 1100 mm långa, konditionerade, hyvlade och utan större naturliga defekter med några få undantag. Längden var anpassad för att få 3 kortare bitar, 2 bitar á 375 mm att användas till skjuvningstest och en bit på 100 mm till test av hålkantshållfasthet se Figur 5.5. Bitarna numrerades, fotograferades, vikt och dimensioner noterades. Ett värde på E-modul bestämdes därefter enligt EN 408 där E-modul beräknas utifrån uppmätt nedböjning som mäts när provbiten belastats med en känd vikt och en känd spännvidd se Figur 5.2. Totalt inmättes 62 stycken provbitar med spridning enligt Tabell 5.1.



Figur 5.2: Försöksupställning för mätning av E-modul enligt EN 408.

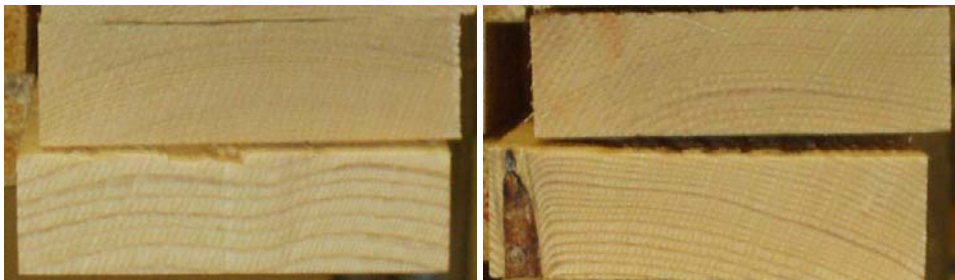
Tabell 5.1: Träråvarans egenskaper och variation.

	<i>Tjocklek</i>	<i>Bredd</i>	<i>Densitet</i>	<i>Emodul</i>
	<i>mm.</i>	<i>mm.</i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>MPa</i>
Medel	20,60	68,75	528	13285
Stdav.	0,34	0,69	60	2274
Max	21,00	69,80	763	17249
Min	19,70	65,50	392	7403





Figur 5.3: Exempel på råmaterialalets utseende och kvalitet till massivträväggar och provbitar.



Figur 5.4: Exempel på variation i årsringstäthet och årsringarnas orientering.

Brädbitarna kapades därefter i tre delar där två stycken á 375 mm användes till spikskjuvningstest enligt EN 1380. Komponenter xxx:1 och xxx:2 enligt figur 5.5 spikades ihop med likadan spik som väggelementen, d v s spikar av märket Senco®, bandad, slät spik med klippt huvud av dimension 65 x 2,9 millimeter. Spikarna var belagda med Sencote® ett polymersmältlim (Harts-Akryl) som efter montering ökar fästkraften och därigenom spikens utdragningskraft. Avståndet mellan spikar och spikars närhet till virkesände är  $> 10 d$  och  $> 5 d$  till obelastad virkeskant vilket uppfyller rekommendationerna för spikförband vid tvärkraft enligt BKR (Anon, 1998).

Av de 62 inmätta bitarna valdes 15 stycken till test av hålkantshållfasthet enligt EN 383. Enligt standaren Eurocode 5 är de två mest avgörande parametrarna i detta test densiteten och spikens diameter. Spikarnas diameter är konstant 2,9 mm och

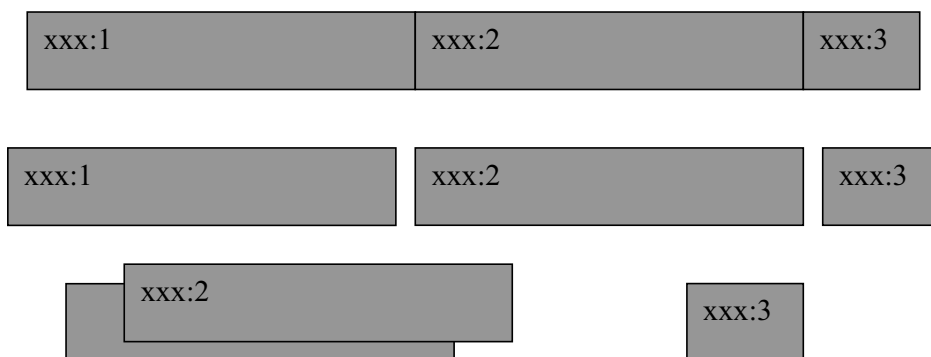
provbitarna i trä valdes därför ur populationen så att de representerar 3 olika densitetsklasser se Tabell 5.2.

Tabell 5.2: Tre densitetsklasser med 5 provbitar i varje valdes ur populationen på 62 provbitar.

<i>Densitet</i>	<i>Medelvärde</i>	<i>Standardavv.</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>
Alla prov	527 Kg/M <sup>3</sup>	60 Kg/M <sup>3</sup>	392	763

<i>Densitetsklass</i>	<i>Medelvärde</i>	<i>Standardavv.</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>
Lätt	441 Kg/M <sup>3</sup>	16 Kg/M <sup>3</sup>	422	464
Medel	518 Kg/M <sup>3</sup>	3 Kg/M <sup>3</sup>	513	521
Tung	656 Kg/M <sup>3</sup>	60 Kg/M <sup>3</sup>	622	763

Till hålkantshållfasthetstestet användes restbiten xxx:3 enligt Figur 5.5 som nedkapats till en 100 mm lång provbit. De fem med lägst, de fem med mellan och de fem med högst densitet valdes sedan bland alla 62 bitar. Bitar med kvist i direkt anslutning till mätområdet kasserades för att defekten inte skulle påverka provresultatet och ny bit valdes.



Figur 5.5: Sampling av provbitar ur en bräda.

### 5.3 Hålkantshållfasthet

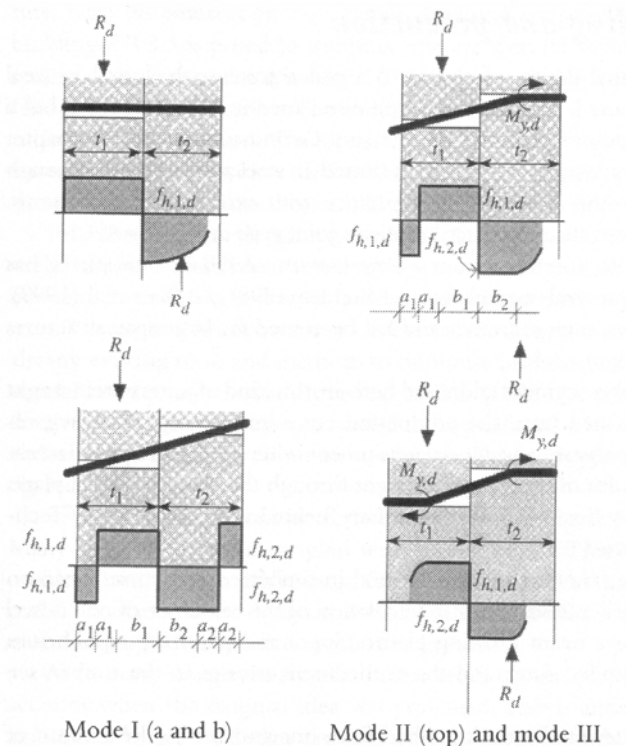
Inför provningen av hålkantshållfasthet var det nödvändigt att minska tjockleken 5 mm på de ursprungligen cirka 20 millimeter tjocka provbitarna för att spiken enligt standard skulle fungera som en rak ”balk” enligt Mod 1a i Figur 5.6 och inte böjas under belastning. Spiken appliceras sedan i ett i träbiten förborrat hål med 2,8 mm diameter. Observera att inför provet avlägsnas det polymersmältlim Sencote® som spiken är belagd med och eftersom detta lim i ett verkligt fall skulle limma fast spiken i träet och därmed minska benägenheten till spräckning är

hålkantshållfastheten från dessa försök i underkant (Rodd, 1973). Spiken belastas sedan vinkelrätt mot sin axel genom att fixeras i en hållare av stål (Figur 5.7) och en förskjutning av träbiten parallellt fiberriktning relativt spiken appliceras till  $F_{\max}$  med en hastighet av 0,007 mm/s. Kraften mäts 2 ggr/s och värdet för olika inkrement av  $F_{\max}$  interpoleras sedan vid beräkning.

För att beräkna den lastbärande förmågan eller styrkan i ett spik/träförband är värdet på hålkantshållfasthet eller embedding strength en viktig variabel. Värdet beräknas enkelt enligt Formel 5.1 där  $F_{\max}$  är uppnådd maxlast,  $d$  är spikens diameter och  $t_1$  är tjockleken på den provade träbiten. Förutsättningen vid provet visas i Figur 5.6 och Mod 1a.

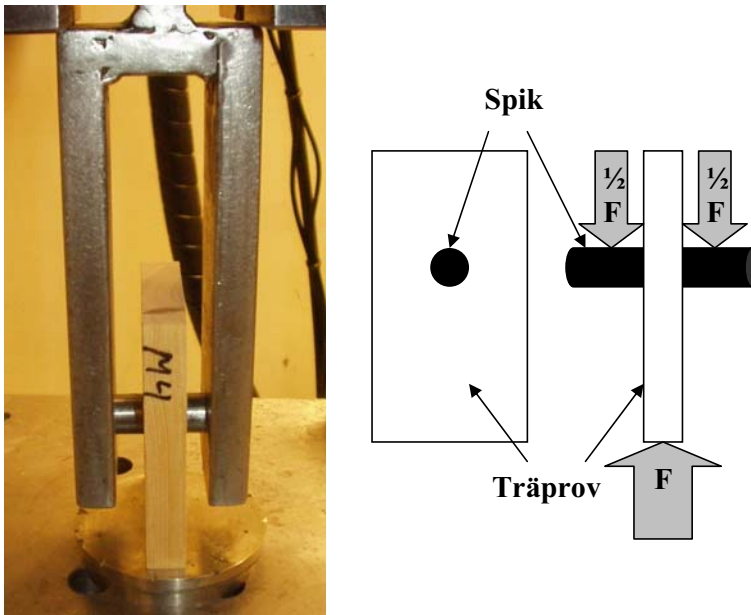
$$\text{Hålkantshållfasthet} \quad f_H = F_{\max}/(d * t_1) \quad (5.1)$$

Resultatet är dock starkt beroende på trämaterialalets egenskaper, i synnerhet densitet, och varierar därför mellan olika träslag och även mellan och inom bitar tagna ur samma träd beroende på bland annat årsringarnas riktning, täthet och orientering i provet.



Figur 5.6: Olika typer av haverimoder för dymlingar och förband, trä mot trä, Hilson (1995)

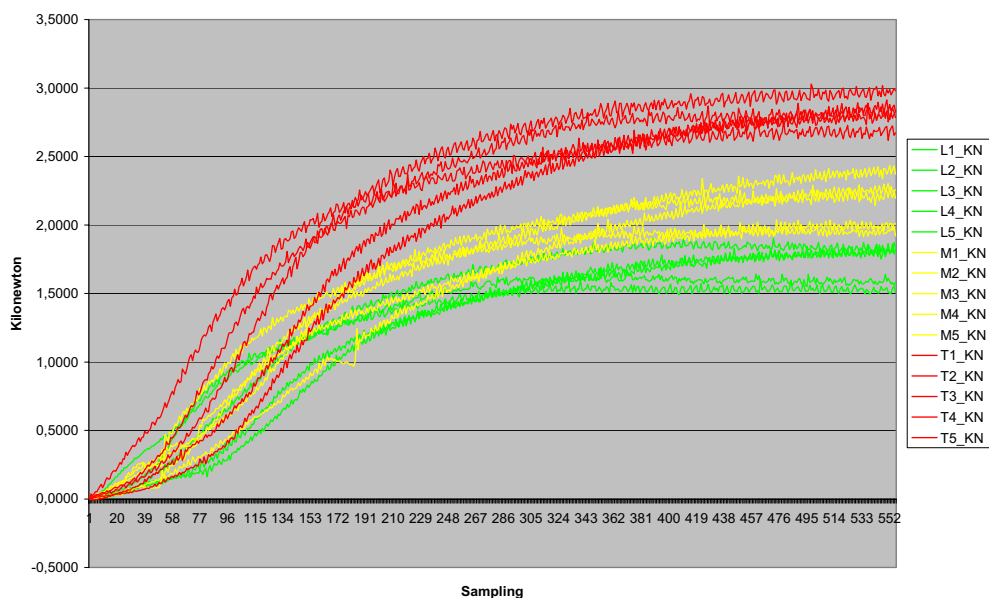
Observera att i den sammansatta provkroppen som senare provas enligt EN 1380 och även i det verkliga förbandet i massivträväggen kan även de övriga tre moderna i Figur 5.6 förekomma. Teorin att beräkna krafterna i ett förband sammansatt av en eller flera dymlingar eller i vårt fall spikar utvecklades av Johansen (1949) och går ut på att behandla spiken som en balk (utan spikhuvud), eventuellt med en eller flera plastiska leder som i interaktion med trämaterialen formar en jämvikt mellan applicerad last och inre spänningar i provkroppen se Figur 5.6. Formler för beräkning av resistansen för de olika moderna återfinns bland annat i Eurocode 5 (EC5)



Figur 5.7: Bilderna visar hur provbitar belastas vid provning enligt EN383

### Resultat hålkantshållfasthet

Resultatet från försöken visar på stor skillnad i maxlast och beteende mellan de olika densitetsintervallen vilket väl avspeglar densitetens betydelse (Figur 5.8). Intressant är att gruppen med mellandensitet, som enligt Tabell 5.3 och 5.4 har väldigt låg standaravvikelse för densiteten, har den högsta standaravvikelsen för hålkantshållfasthet. Man kan också se stor variation på den elastiska delen som mäts mellan 10 och 40 % av maxlast, och även där inom varje densitetsklass. Det är alltså mycket osäkert att bara utifrån att mäta densitet eller E-modul avgöra värdet på hålkantshållfastheten.



Figur 5.8: Kraft som funktion av tid med resultat grupperat efter densitet från provning enligt EN 383.

Tabell 5.3: Resultat för varje prov enligt EN 383

Prov	Densitet Kg/M <sup>3</sup>	E-Modul MPa	Hålkantshållf. N/mm <sup>2</sup>	K
				(Elastisk) kN/mm
L1	434	10056	39,28	2,642
L2	439	11117	44,94	3,434
L3	422	9373	37,41	4,924
L4	447	16156	45,44	3,673
L5	464	11130	45,17	3,443
M1	521	15455	55,58	2,991
M2	518	10708	59,29	5,037
M3	520	14337	48,93	4,798
M4	521	10857	55,36	3,463
M5	513	14993	49,42	3,488
T1	641	17169	67,29	4,664
T2	632	16825	73,70	5,364
T3	623	16459	68,09	6,053
T4	622	15625	75,29	5,538
T5	763	16805	66,07	5,436

Tabell 5.4: Resultat enligt EN 383 grupperat per densitetsklass

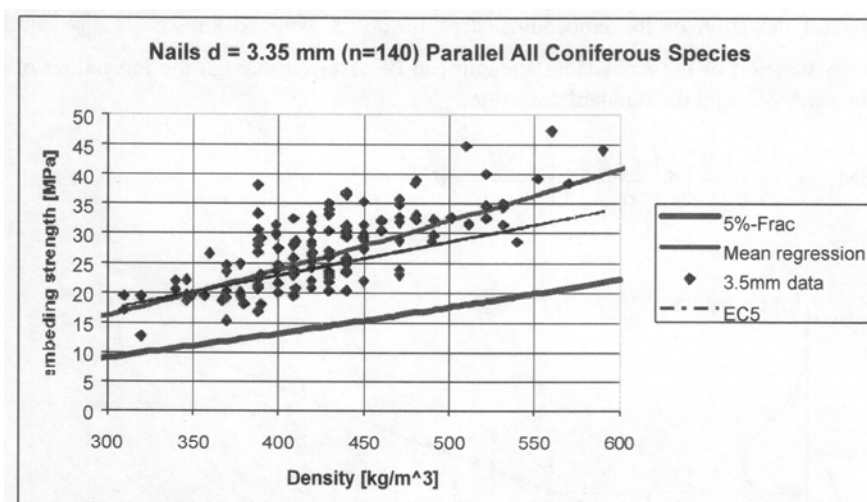
Viktclass	Hålkantshållf.		Hålkantshållf.		K (Elastisk)	
	N/mm <sup>2</sup>	Std.avv.	5:e percentil	kN/mm	Std.avv.	
Lätt	42,45	3,81	37,78	3,623	0,83	
Medel	53,72	4,43	49,03	3,956	0,90	
Tung	70,09	4,13	66,31	5,411	0,50	
ALLA	55,42	12,35	38,72	4,33	1,07	

Resultatet ovan visar på högre värden på hålkantshållfasthetens 5 percentil kopplat mot densitet än de som redovisats i sammanställningen som gjorts av A.J.M.Leijten och J Köhler (2004). Där undersöktes möjligheten att använda hålkantshållfasthetsdata för tillförlitlighetsanalys av dymlingsförband, där jämfördes också skillnader och likheter mellan europeiska och amerikanska metoder att beräkna hålkantshållfasthet se Figur 5.9. Undersökningen innehåller en sammanställning av resultat från 5 olika rapporter från år 1985-2003 med mer än 2500 försök där 20 olika träslag ingår. Ovanstående värden överstiger även de teoretiska värden för hålkantshållfasthet med ett förborrat hål som enligt Whale et al. (1989) ska kunna räknas ut enligt Formeln 5.2 där  $\rho$  är trädensiteten i kg/m<sup>3</sup> (Tabell 5.5) och  $d$  spikens diameter.

$$\text{Hålkantshållfasthet} \quad f_H = 0.082(1-0.01d)\rho \quad (5.2)$$

Tabell 5.5: Resultat enligt formel 6.2 grupperat per viktclass

Densitets- klass	Hålkantshållf. N/mm <sup>2</sup>
Lätt	35,11
Medel	41,24
Tung	52,23
ALLA	42,04



Figur 5.9: Hålkantshållfasthet för spik med diameter 3,35mm (n=140) Leijten och Köhler (2004)

En förklaring till att ovanstående värden på hålkantshållfasthet är högre än i denna undersökning är att i sammanställningen och redovisningen av de olika försöken som indelas i densitetsklasser blandas försök med olika fuktkvot och alla bitar av trä förutsätts vara förborrade även om så inte varit fallet. Förbörning ger också enligt Whale et.al. (1989) upphov till mindre sprickbildning och därmed högre värden på hålkantshållfasthet. Olika diametrar på, och typ av dymlingar har också använts i denna undersökning utan redovisning av dess inverkan. Det faktum att sidobrädorna som används i massivträväggarna övervägande har liggande årsringar kan också inverka positivt på hålkantshållfastheten.

#### 5.4 Last-förskjutningsmodul

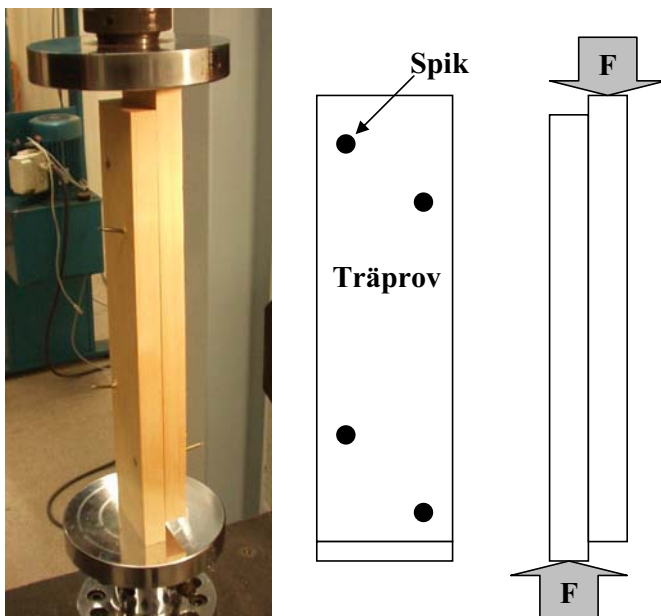
Last-förskjutningsmodulen (Slipmodulus) i ett spikförband enligt tidigare beskrivning mättes enligt standard EN 1380. Standarden beskriver testmetoder att bestämma styrkan och deformationskaraktäristik i ett förband med spikar, skruvar eller bultar. Beräkning av styrka och deformationskaraktäristik görs enligt standard EN 26891 som beskriver beräkning av last-förskjutningsmodulen enligt Formler 5.3 och 5.4 nedan där  $v_{01}$  och  $v_{04}$  är deformationer vid 10 resp 40 % av förbandets maxlast  $F_{max}$ .

$$\text{Last-förskjutningsmodulen} \quad k_s = 0.4 F_{max}/v_i \quad (5.3)$$

$$\text{Modifierad initial Last-förskjutningsmodul} \quad v_i = 4/3 (v_{04} - v_{01}) \quad (5.4)$$

Totalt 62 stycken provkroppar tillverkades, en grundmodell i tre varianter med 2 bitar användes, xxx:1 och xxx:2 enligt Figur 5.5 vilket gav ett enskärigt förband med två komponenter vilket avviker från standardens enskäriga förband med tre komponenter (Spikar går där också bara genom ett skär). Dessa har sedan sammanfogats med 4 spikar enligt Figur 5.10, spikningen har skett från båda sidor för att öka provkroppens symmetri och därmed minska sned kraftfördelning i provutrustning. Spikningen gjordes med samma spikpistol som massivträväggarna i fabrik med skillnaden att spikningen gjorts på fri hand utan jigg. Luftrycket i spikpistolen justerades också så att spiken trängde igenom komponenterna och spikhuvudets ovasida kom i nivå med brädans yta. Observera att förankringslängden i försöken var oförändrad trots stor deformation. Detta kommer sig av att spikarna vars längd är 65 millimeter helt penetrerar provet med utstick på upp emot 17 millimeter vilket inte förekommer på massivträväggen "framsida" som är helt fri från spik.

Provbiten placerades sedan mellan de parallella stöden i en dragprovare av märke Instron se Figur 5.10. och det undre stödet trycktes sedan uppåt utan avbrott med en hastighet av 0,014 mm per sekund. Kraften mättes och registrerades kontinuerligt och provkroppen belastades till maximal kraft uppnått i förbandet. Grundmodellen tillverkades i 21 exemplar och de olika varianterna med en board, 3,2 eller 6,4 mm emellan brädorna vilka tillverkades i 21 respektive 20 exemplar. Spikpistolens slagkraft anpassades för varje variant av provkropp för att spikarnas huvud alltid skulle vara jäms med trämateriallets yta. Genom denna anpassning kan spikarnas applicering antas vara identisk oberoende av provkropp och likvärdig med den i laboratorium testade massivträväggen.



Figur 5.10: Bilderna visar hur provbitar belastas vid provning enligt EN 1380 .



## Resultat Last-förskjutningsmodul

Resultatet (Tabell 5.6, 5.7 och Figur 5.12, 5.13, 5.14) från försöken visar på stor variation inom provkroppsgrupperna. Resultatet är till viss del densitetsberoende enligt Figur 5.12, 5.13, 5.14 då låg densitet gav ett lägre värde vilket överensstämmer med andras resultat (Leijten et al. 2004) och Eurocode 5.

Tabell 5.6: Resultat för provkroppar med 4 spikar enligt EN 1380, maxvärden.

<i>Provkropparnas Maxvärden</i>	<i>Medel kN</i>	<i>Stdav.</i>	<i>5:e percentil</i>
Grundmodell	3,61	0,29	3,22
3,2 mm board	3,22	0,22	2,98
6,4 mm board	3,78	0,34	3,44

Tabell 5.7: Resultat för provkroppar med 4 spikar enligt EN 1380, last-förskjutningsmodul.

<i>Last- förskjutningsmodul</i>	<i>kN/mm</i>	<i>Stdav.</i>	<i>5:e percentil</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Grundmodell	3,52	0,84	2,38	1,99	5,29
3,2 mm board	2,64	0,48	2,03	1,77	3,77
6,4 mm board	2,21	0,31	1,85	1,75	2,78

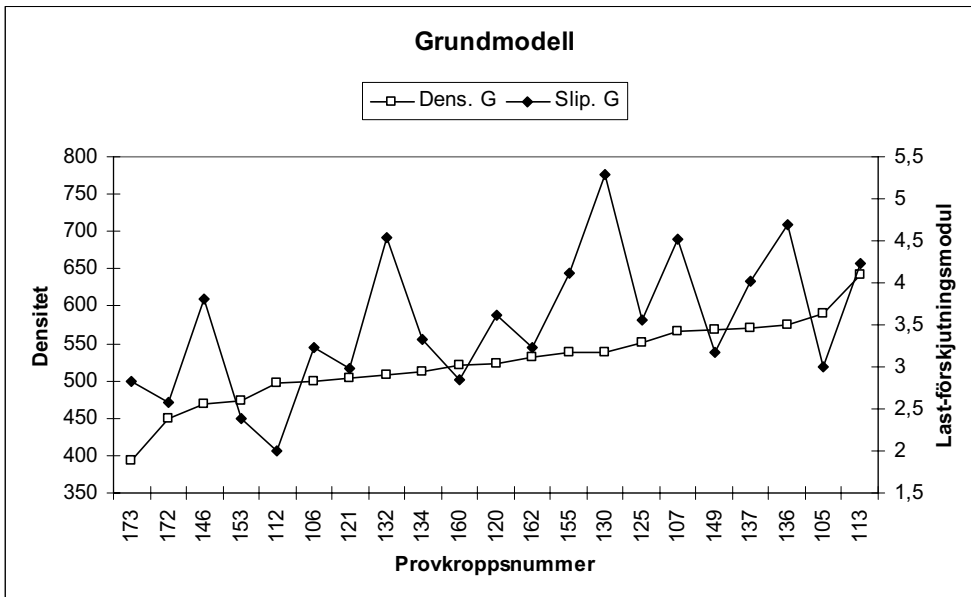
Boardskivans inverkan på last-förskjutningsmodulen är negativ genom att boarden distanserade träbitarna från varandra. Intressant är också att standardavvikelsen minskade i högre grad än medelvärdet när boardtjockleken ökat (Tabell 5.7). En förklaring kan vara att flytlederna i spikarna därmed kommer längre från varandra och vinkeländringen blir då mindre vid en given förskjutning och den plastiska deformationen minskar med lägre moment som följd, se exempel på spikarnas deformation (Mod 3) beroende på typ av provkropp i Figur 5.11.

Genom mätning av positionen på ”knävecket” i spikarnas flytled i de olika provkropparna kan man se att flytleden på spikskallesidan befann sig ungefär 12 mm in i virket medans den var 15 mm in från ”spetsidan” oberoende på närvaro av board eller boardens tjocklek. Detta berodde på det faktum att spiken dras ur från spetsidan vilket i sin tur berodde på att förankringlängden på spetsidan inte matchar spikhuvudet bidrag till ökad utdragskraft. Flytleden som initierades närmast spikens spets förflyttades därmed mot centrum av provkroppen.

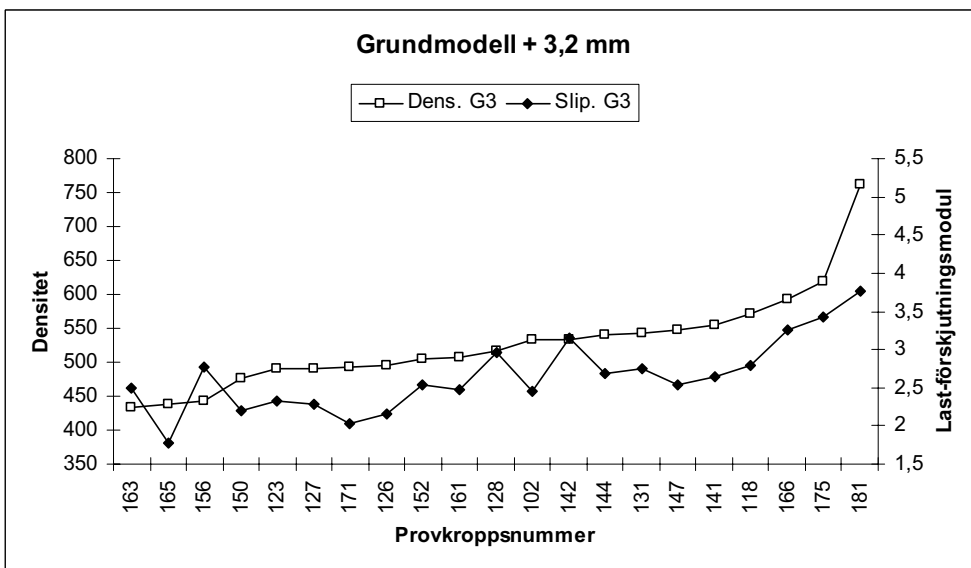


Figur 5.11: Exempel på spikarnas deformation (Mod 3) och boardens inverkan i provkropp nummer 202 överst, 161 i mitten och 140 nederst.

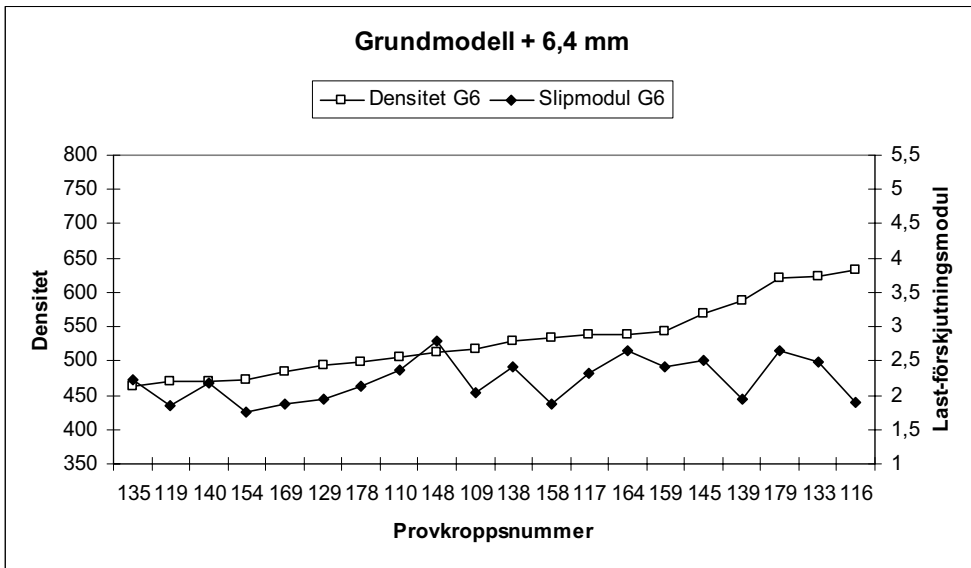
Notera att skillnaden i maxvärde (Tabell 5.6) mellan de olika provkroppstyperna är liten. Skillnaden i lastförskjutningsmodulens minvärde (Tabell 5.7) är också liten mellan de olika typerna. Värdet på den karaktäristiska last-förskjutningsmodulen som ska användas i en hållfasthetsberäkning fås av 5:e percentilen som anger att 95 % av allt provat material överstiger detta värde. Rent praktiskt innebär detta att i en dimensionerande hållfasthetsberäkning för denna typ av belastning är det inte någon större skillnad mellan dessa tre typer av förband.



Figur 5.12: Last-förskjutningsmodul och densitet för grundmodell utan board.



Figur 5.13: Last-förskjutningsmodul och densitet för grundmodell med 3,2 mm board.

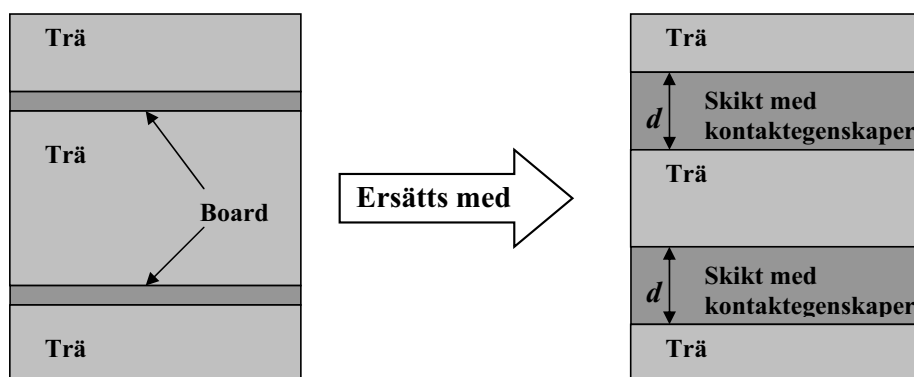


Figur 5.14: Last-förskjutningsmodul och densitet för grundmodell med 6,4 mm board.

### 5.5 Ny modell och resultat från FEM med nya materialparametrar

Programpaketet Solid/Cosmosworks har i de använda versionerna inte möjlighet att som i mer avancerade och komplicerade FEM-program modellera ett spikförband genom att i kontaktytor ersätta spikarnas egenskaper med exempelvis fjädrar med specifika fjäderkonstanter. Ett sätt att kringgå denna begränsning skulle kunna vara att ”ersätta” spikförbandet med dess globala egenskaper med ett nytt fiktivt ”Träskikt med kontaktegenskaper” enligt Figur 5.15. Utifrån resultat från standardiserade provningar av mindre provkroppar beräknas skiktets egenskaper.

I ett försök att skapa ett sådant skikt med kontaktegenskaper användes som utgångspunkt ovanstående resonemang samt mätningen som gjorts av positionen på ”knävecket” i spikarnas flytled.



Figur 5.15: Förbandet av trä board och spik ersätts med ett skikt med kontaktegenskaper (Principskiss).

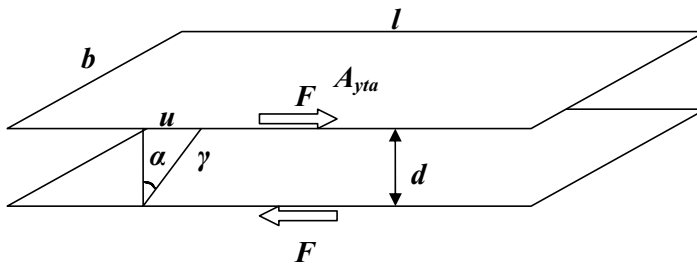
Utgångspunkten är alltså observationen att det fiktiva skiktet i den enskilda träbiten där spikarnas deformation äger rum är cirka 5 millimeter tjockt. Det tänkta skiktet med kontaktegenskaper ersätter alltså 5 millimeter av trämaterial på var sida om boarden vars tjocklek adderas till detta.

Väggelementen testades dock genom böjprov och belastades då i en annan riktning än provningen av last-förskjutningsmodul i den enkla provkroppen. För att i möjligaste mån behålla det i böjning styvare trämaterial provas också ett annat alternativ för skiktjocklek där mindre trämaterial ersätts och materialet med kontaktegenskaper då görs 1 millimeter tjockt på var sida om boarden vars tjocklek adderas till detta.

Om ett nytt materialskikt med tjockleken  $d$  (se Figur 5.15 och 5.16) med nya materialegenskaper ska ersätta kontaktytan mellan brädsnitt och byggskiva ska det således bli  $10 + t$  eller  $2 + t$  millimeter tjockt där  $t$  är boardskivans tjocklek. Detta ger också en fördel vid beräkningen i FEM genom att måttet på skiktet är i nivå med

måtten för de övriga komponenterna. Elementstorlek och avståndet mellan noder blir då ungefär desamma i hela modellen och antalet frihetsgrader avviker därmed inte nämnvärt från den ursprungliga modellen och blir därmed inte tyngre beräkningsmässigt.

Resultat från tester av last-förskjutningsmodul och geometriska formler kan sedan ge ett underlag till de nya egenskaper som måste tas fram för skiktet med kontaktegenskaper.



Figur 5.16: Geometrier och variabler för beräkning av Materialegenskaper

Ur försöken med last-förskjutningsmodulen fås  $u$  och  $F$ . Provkropparnas storlek ger  $A_{yta}$  och kända matematiska samband ger sedan att:

$$\text{Skjuvspänningen} \quad \tau = G * \gamma = F / A_{yta} \quad (5.5)$$

$$\text{Skjuvtöjningen} \quad \gamma = \tan \alpha = u / d \quad (5.6)$$

$$\text{Medelskjuvspänningen} \quad \tau = F / A_{yta} \text{ Där } A_{yta} = l * b \quad (5.7)$$

$$\text{Skjuvmodulen*} \quad G = E / 2(1 + \nu) \quad (5.8)$$

\*Gäller dock bara vid elastisk deformation

Vid beräkning av elasticitetsmodulen utifrån formler 5.5 - 5.8 behövs ett värde på tvärkontraktionstalet  $\nu$  som i detta tänkta skikt sätts till 0 vilket innebär att det fiktiva materialet inte dimensionsförändras vinkelrätt normalspänningens riktning (Kork har exempelvis denna egenskap). Materialet blir i och med denna förenkling mindre benäget att komprimeras vid den stora deformation som det fiktiva materialet kommer att utsättas för. Trämaterialet som ska efterliknas komprimeras i verkligheten endast marginellt genom att den stora deformationen hanteras genom glidning mellan plan och plastisk deformation i spikar och spikhål.

Sammantaget medför detta att  $E = 2G$  för skiktet med kontaktegenskaper. Att jämföras med trä av kvalitet K35 där  $E_{\text{Parallellt fibrer}} = 16G$  och  $E_{\text{Vinkelrätt fibrer}} = 0,53G$ .

Genom att sedan använda uppmätta värden från 3 försöksserier med last-förskjutningsmodul, och då genomgående använda ett genomsnitt av de värden som erhållits vid 0,1 och 0,4\* $F_{\text{Max}}$  fås 6 stycken medelvärden på  $G$  dels för hur mycket trä som ersätts dels för 3 olika varianter, utan, med 3,2 millimeter respektive 6,4

millimeter board se tabell 5.8 och 5.9. Genom att använda värden på deformationen mellan 0,1 och  $0,4 \cdot F_{\max}$  elimineras initialt glapp till stor del och förbandet uppträder i det närmaste elastiskt utan större plastiskt deformation.

Tabell 5.8: Framräknad skjuv och elasticitetsmodul för skikt med kontaktegenskaper där i varje skär totalt 2 millimeter av trämaterialiet ersätts.

<i>Skiktjocklek t</i>	<i>G-modul (Mpa)</i>	<i>Stdavv</i>	<i>E-Modul (MPa)</i>
2 mm	0,287	0,069	0,574
5,2 mm	0,539	0,098	1,078
8,4 mm	0,723	0,102	1,446

Tabell 5.9: Framräknad skjuv och elasticitetsmodul för skikt med kontaktegenskaper där i varje skär totalt 10 millimeter av trämaterialiet ersätts.

<i>Skiktjocklek t</i>	<i>G-modul (Mpa)</i>	<i>Stdavv</i>	<i>E-Modul (MPa)</i>
10 mm	1,44	0,34	2,88
13,2 mm	1,40	0,25	2,80
16,4 mm	1,45	0,20	2,90

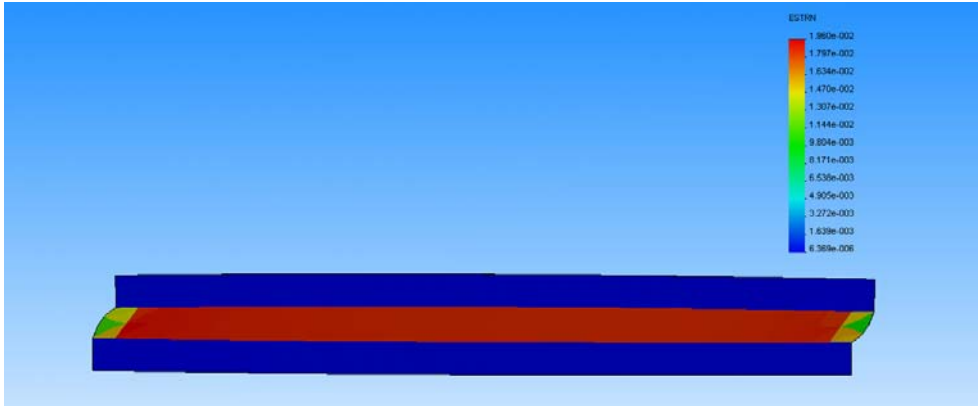
Standardavvikelsen för skjuvmodulen **G** är stor men genom att använda det fiktiva materialets egenskaper i en FEM-modell som avbildar försöken (Figur 5.17), visas i Tabell 5.10 och 5.11 ändå en god överensstämmelse med det verkliga resultatet.

Tabell 5.10: Skjuvning i millimeter för provkropp och FEM-modell där totalt 2 millimeter av trämaterialiet ersätts med ett skikt med kontaktegenskaper vid lasten  $(0,4-0,1) \cdot F_{\max}$ .

<i>Skiktjocklek t</i>	<i>Lab</i>	<i>FEM</i>	<i>Fel</i>
2 mm	0,3230	0,3272	1,3%
5,2 mm	0,3750	0,3844	2,5%
8,4 mm	0,5197	0,5381	3,5%

Tabell 5.11: Skjuvning i millimeter för provkropp och FEM-modell där totalt 10 millimeter av trämaterialiet ersätts med ett skikt med kontaktegenskaper vid lasten  $(0,4-0,1) \cdot F_{\max}$ .

<i>Skiktjocklek t</i>	<i>Lab</i>	<i>FEM</i>	<i>Fel</i>
10 mm	0,3230	0,3347	3,6%
13,2 mm	0,3750	0,3945	5,2%
16,4 mm	0,5197	0,5511	6,0%

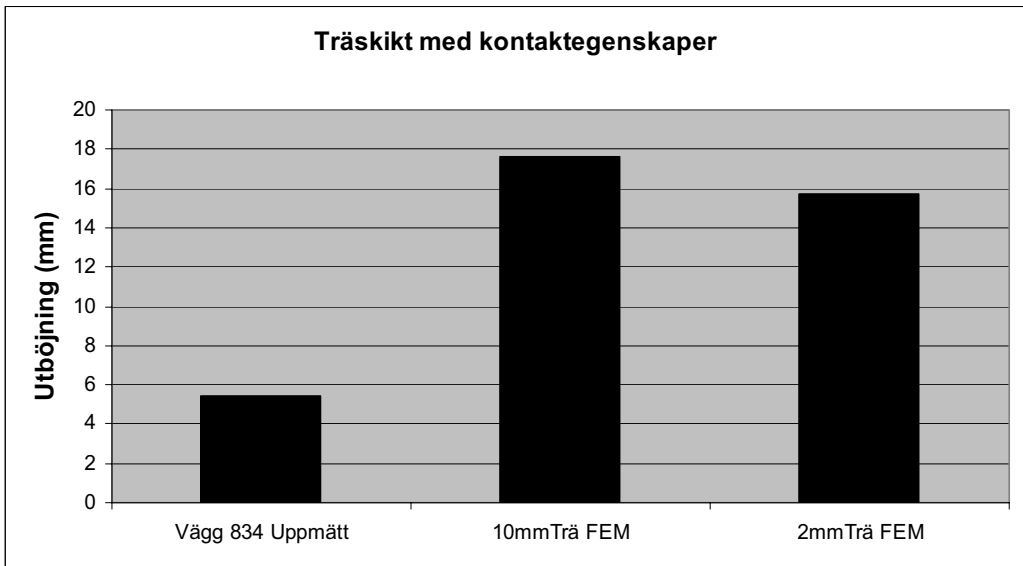


Figur 5.17: Belastad provkropp med resulterande sträckning i materialet. Skiktjocklek 16,3 millimeter enligt försök (Förskjutningen överdrivs i figuren).

I försöken där last-förskjutningsmodulen undersöktes fanns 4 spikar eller 163 spikar/m<sup>2</sup>, i försöket med massivträväggen av modell 834 och 434 var antalet spikar/m<sup>2</sup> 140st. En FEM-simulering med ovan framräknade egenskaper borde alltså ge ett resultat som visar på något mindre utböjning än vid laboratorietester av dessa väggtyper.

Resultatet från FEM-beräkning av spikad väggtyp 834 där 10 millimeter trä ersätts vid varje kontaktyta visar dock på motsatsen, en nedböjning på 17,6 att jämföra med den verkliga på 5,4 millimeter. Om istället 2 millimeter trä ersätts vid varje kontaktyta blir nedböjningen något mindre, 15,7 millimeter, bättre, men fortfarande nästan 3 gånger den verkliga (Figur 5.18). Detta är också sämre än ursprungsmodellen (jämför med Figur 4.9).

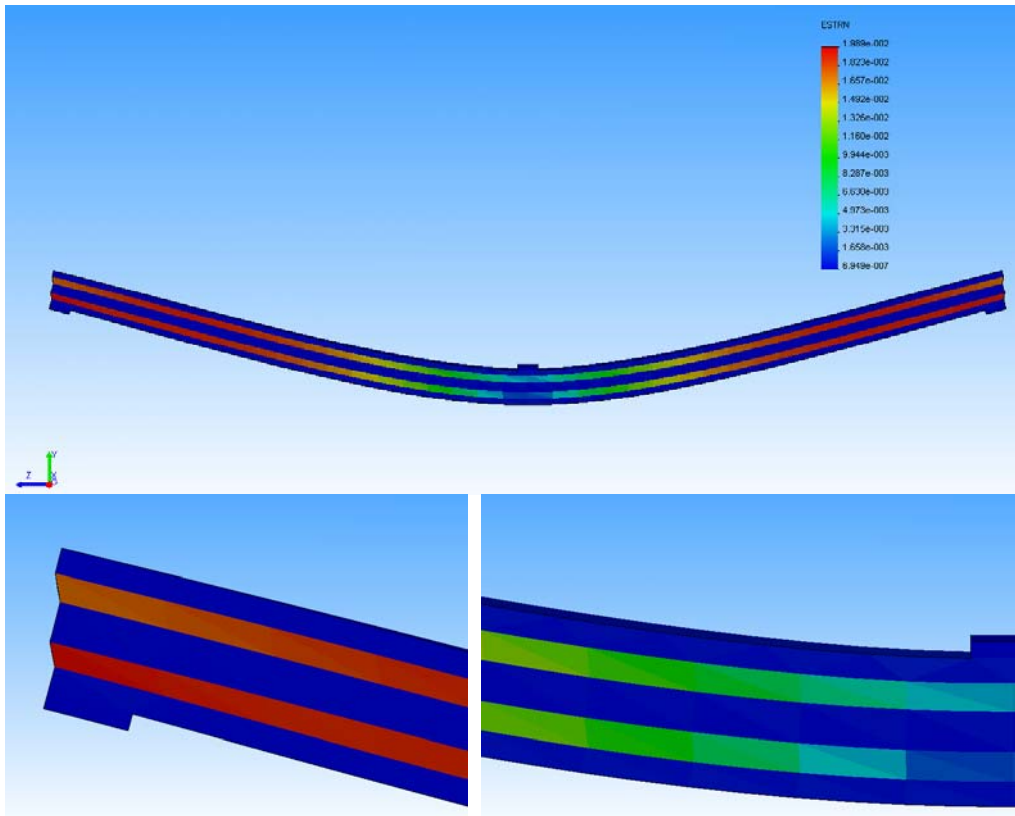




Figur 5.18: FEM-resultat från böjprovning med skikt med kontaktegenskaper.

Resultatet kan delvis förklaras av att det fiktiva skiktet har mycket låg böjstyvhet i jämförelse med trä och board och då är ”för tjockt” vilket i sin tur leder till att ”böjstyvhetsbortfallet” blir för stort när massivträväggen belastas genom böjning vilket vi misstänkte redan tidigare.

Genom att väggelementen belastas i ett böjprov kommer dessutom skjuvningen mellan de olika skikten att variera utefter väggens längd vilket kan ses i figur 5.19 nedan. De egenskaper som skiktet med kontaktegenskaper fått från försöken med Last-förskjutningsmodul förutsätter att hela skiktet tar samma last eller deformeras lika över hela längden vilket inte är fallet. En ny serie prov med provbitar som är ett tvärsnitt av massivträväggen i full längd skulle alltså krävas för att bättre räkna fram rätt egenskaper för detta belastningsfall.



Figur 5.19: Materialets sträckning i skikt med kontaktegenskaper för väggtyp 834. (Förskjutningen överdrivs i bilden)

### 5.6 Avancerad fjädermodell i verktyget ABAQUS/CAE

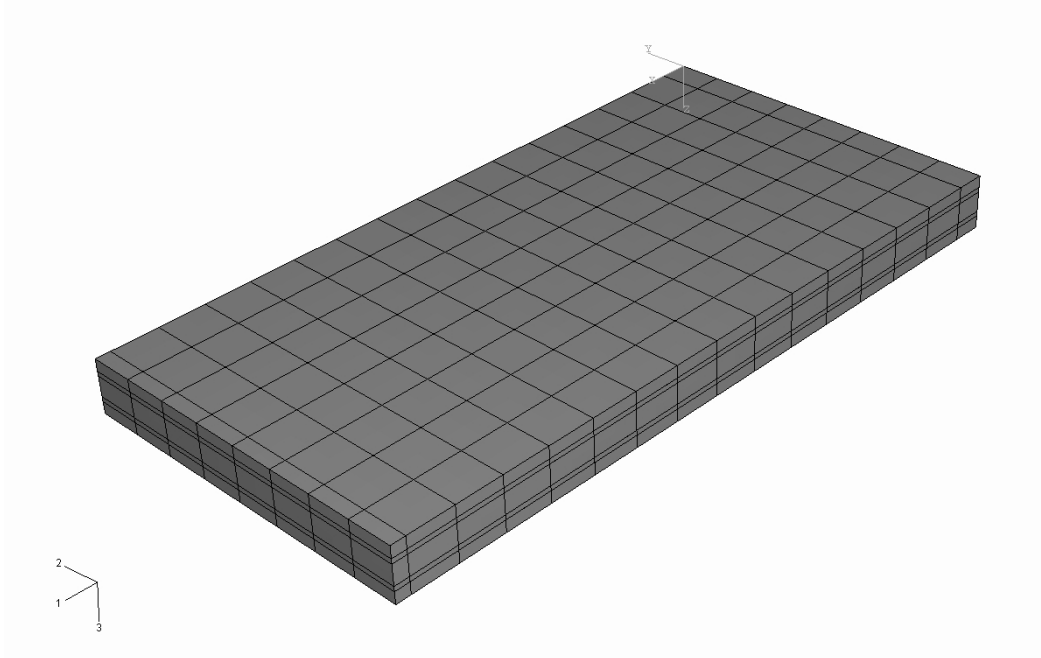
I ett försök att bättre beskriva och förklara vad som händer i massivträväggs spikförband, och specifikt då i kontakten mellan spikar, board och träskikt gjordes även några försök med en ny och mer detaljerad modell där varje spik i varje skär ersätts med en linjärt elastisk fjäder med en specifik fjäderkonstant.

Vid försöket användes FEM-programmet ABAQUS™ och preprocessor CAE (Version 6,5-1) som likt Solid/CosmosWorks är ett kombinat av CAD och FEM, men där fokus tydligt ligger på avancerad linjär och olinjär FEM.

För att göra modellen mer hanterbar trots den ökade detaljnivån gjordes här några geometriska förenklingar. Eftersom symmetri råder i två plan görs modellen endast till en  $\frac{1}{4}$ -del av ursprungsstorlek. Meshen anpassas något till problemet genom att läggas ut som ett kvadratisk rutnät som i väggens plan är identiskt i modellens alla fem skikt (Figur 6.20). Elementstorleken eller rutstorleken i meshen valdes också så att antalet knutpunkter i meshen är ungefär lika med antalet spikar per kvadratmeter i

den verkliga massivträväggen. Skikten kopplades sedan samman med fjädrar i två riktningar i skivans plan och i meshens samtliga nodpunkter.

På grund av den minimala skjuvdeformation som uppträder vid provningen användes endast linjärt elastiska material vid beräkningen, det vill säga elastiska förhållanden råder i de olika materialen. Friktion mellan de olika skikten eller skären sätts också initialt till noll.



Figur 5.20: Den förenklade modellen med anpassad Mesh.

I Eurocode5 ges en formel (6.9) som gör det möjligt att beräkna spikförbandets momentana Last-förskjutningsmodul per plan och spik så kallad "service load slip",  $K_{ser}$ . Där anges träets densitet  $\rho_k$  i  $kg/m^3$  och spikens diameter  $d$  i mm.

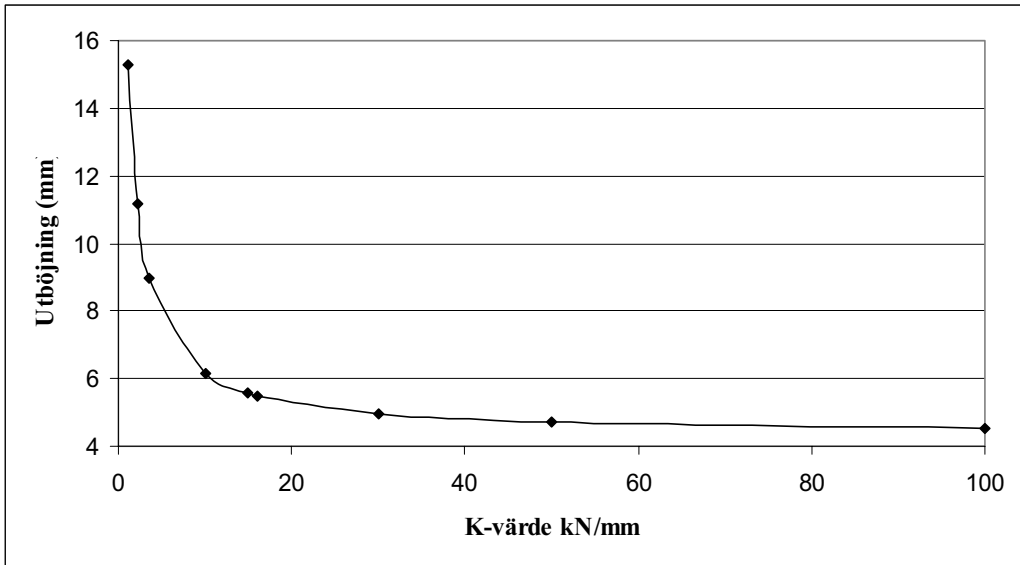
$$\text{Service load slip} \quad K_{ser} = \rho_k^{1.5} d^{0.8} / 25 \quad (5.9)$$

Detta ger med trädensitet  $527 \text{ kg/m}^3$  från försöken att  $K_{ser} = 1,134 \text{ kN/mm}$ . Detta kan användas som en referens att jämföras med resultaten från provningarna i tabell 5.7 som visar värden på drygt  $2 \text{ kN/mm}$  med en tjockare board.

## Fjäderkonstant

Om fjäderkonstanten i modellen initialt sätts till  $0 \text{ kN/mm}$  motsvarar detta fritt upplagda skikt och ger vid beräkning en utböjning på  $35,95 \text{ mm}$  vilket väl överensstämmer med balkteori och fritt upplagda skikt. Detta ska jämföras med den

verkliga väggens utböjning på 5.4 millimeter. Genom att successivt öka fjäderkonstanten så blir utböjningen och därmed skjuvningen i modellen mindre enligt Figur 5.21.



Figur 5.21: Utböjningen med avseende på fjäderkonstant (utan friktion).

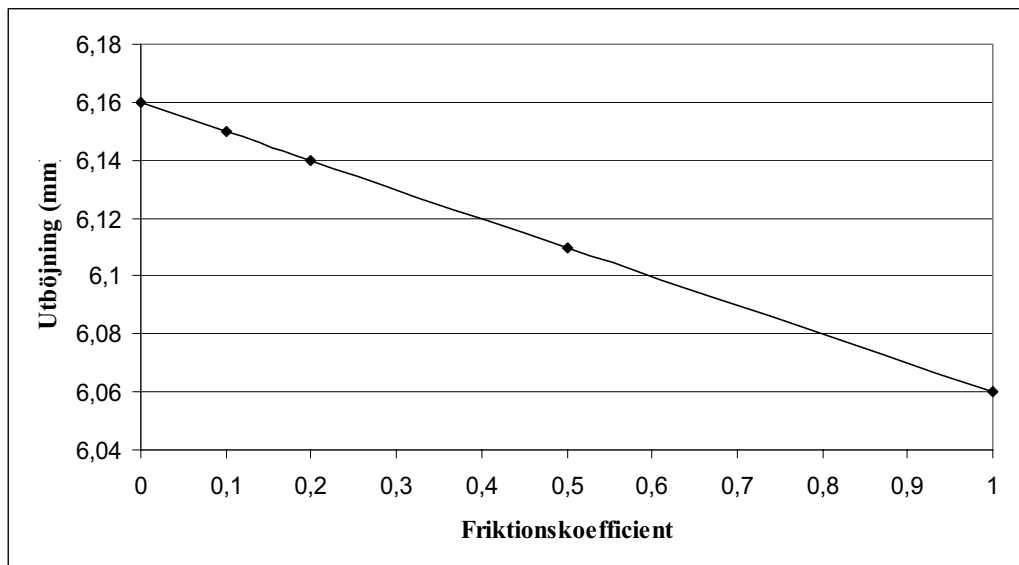
Med en fjäderkonstant på 16,5 kN/mm i väggens plan dvs. 15 gånger större än värdet enligt Eurocode 5 är utböjningen ungefär lika stor som hos den verkliga väggen. Modellen är med andra ord i för hög grad förenklad då ingen friktion finns inlagd mellan skikten. Friktionen och dess bidrag till ökat böjmotstånd beror på bland annat på ytornas jämnhet, hårdhet fuktkvot och extraktivämnesshalt.

### Friktion och Friktionskrafter

Vid en jämförelse mellan nämnda och vid provning uppmätta värden på utböjning borde friktionskrafter som uppstår mellan skikten alltså ha en väsentlig betydelse. Möjligheten att studera denna variabls inverkan gjordes genom att i FE-modellen ändra på friktionskoefficienten mellan skikten. Genom att friktionskoefficienten varierades mellan 0 och 1 (Figur 5.22) minskade dock utböjningen endast marginellt. Detta kan förklaras av att den enkla modellen inte kan överföra friktionskrafter mellan skikten på ett verklighetstroget sätt.

Friktionskraften som i sin tur motverkar nedböjningen är beroende av lasten (en linjelast på 10kN fördelad i över hela massivträväggens bredd) och normalkraften som då uppstått mellan skikten. För att se vilken effekt denna variabel hade

förbättrades modellen genom att ytterligare en fjäder med en skattad fjäderkonstant lade in mellan skikten, vinkelrätt mot skivornas plan.



Figur 5.22: Utböjning m a p friktionskoefficient med fjäderkonstant på 10 kN/mm

Krafterna som uppstått genom spikens utdragning genom skiktsskjuvningen måste också beaktas och då adderas till lasten som globalt påverkar modellen.

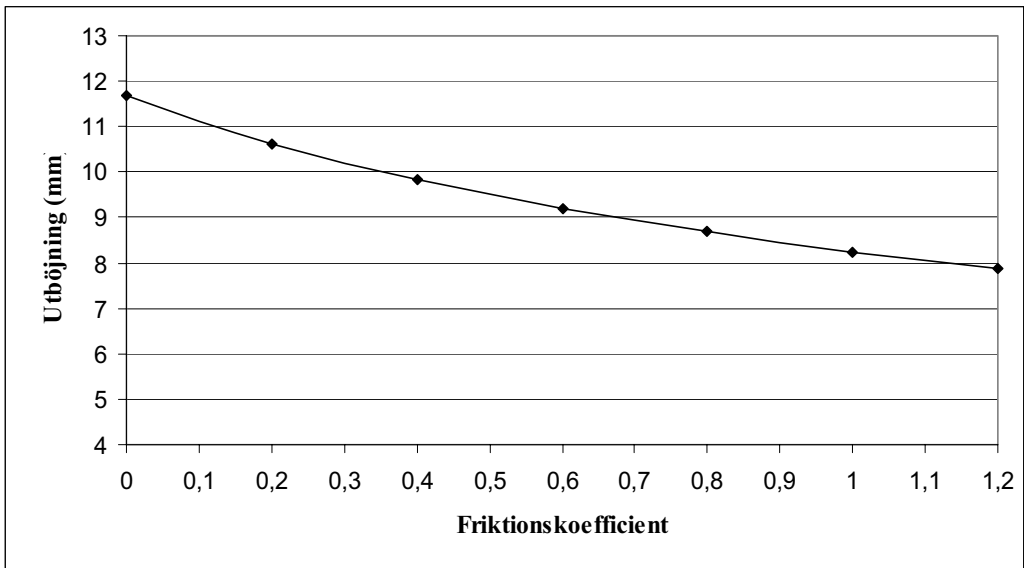
Bidraget till fjäderkonstanten från denna utdragningskraft kan beräknas eller i alla fall uppskattas utifrån kraft-förskjutningskurvor från provning av spikutdragningskraft av Sencospik av dimension 65\*2,9 millimeter på Träteck i april 1992. Utifrån kurvans linjära område som går från 0 till 5,5 mm erhöles ett värde på fjäderkonstanten, 0,31 kN/mm. Observera att spikhuvudets inverkan, det vill säga dess funktion som mothåll eller bidrag till förspänning på grund av att trämateriallet komprimerats därunder inte kommer att avspglas i detta värde.

Böjningen av massivträelementet gör dessutom att det handlar om mycket små förskjutningar eller skjuvningar mellan skikten vilket talar emot detta värde som erhålls vid ren utdragning ur en träbit. Huvuddelen av deformationen resulterar i stället i en sträckning eller kompression av trämateriallet.

Den sammanlagda storleken på denna friktionskraft beror på bland annat väggens belastning, spiktäthet och fördelning, samt initialt glapp respektive förspänning mellan komponenter som kan uppstå vid tillverkningen eller genom trämateriallets

fuktrörelser. De senare är svåra eller rent av omöjliga att registrera och då använda som indata i modellen.

För att i alla fall se effekten av friktionskraften läggs ett tryck över hela ytan motsvarande utdragskraften vid en millimeters utdragning dvs. 0,31 kN per spik blir trycket 43 400 Pa på under- och översida. Detta tryck överstiger både lastens och utdragningskraftens bidrag men alla skikt kläms då ihop så att friktionskoefficienten blir betydelsefull (Figur 5.23).



Figur 5.23: Utböjning med avseende på friktionskoefficient med fjäderkonstanten mellan skikt 2,0 kN/mm och trycket 43400 Pa.

Friktionskraften som uppstår i förbandet räcker dock fortfarande inte till att ge samma böjmotstånd som i den verkliga väggen. Detta kan i sin tur bland annat bero på den initialt statistiska friktionskoefficienten som kan vara högre än de vi använt här.

Svårigheterna med att modellera det spikade förbandet kan alltså inte på ett ingenjörsmässigt sätt lösas bara med hjälp av FEM och ett linjärelastiskt angreppssätt.

## 6 DISKUSSION & SLUTSATSER

### 6.1 Fallstudien

#### Design/konstruktionsarbete och dimensionering

Fallstudien har visat att design/konstruktionsarbetet är enkelt i 3D-CAD och att det med god noggrannhet går att förutsäga mekaniska egenskaper på massivträelement bestående av limmade komponenter. Detta innebär att det inte verkar finnas några direkta hinder att använda generella programvaror vid dimensionering.

Erfarenheten från modellering av massivträelement bestående av spikade komponenter är däremot nedslående och i praktiken innebär detta att det i det vardagliga arbetet visar sig vara mycket komplicerat att i ett generellt likaväl som i ett specialiserat FEM-program korrekt modellera ett elastisk-plastiskt spikförband av storformat som det är fråga om. Detta beror bland annat på det stora antalet okända variabler kring interaktionen mellan spikar och trä i kombination med trämateriallets stora variabilitet.

Programmen (Solid/CosmosWorks version 2005) som nu finns tillgängliga ger dock nya möjligheter att till viss del kringgå dessa svårigheter genom att från laboratorietester använda verkliga last-förskjutningsbeteenden från material eller produkter och sedan använda dessa systemegenskaper vid FEM-beräkningar.

### 6.2 Användaren och Verktygen

Under tiden jag använt de olika verktygen i olika versioner och konfigurationer har jag gjort nya upptäckter, men likväl ett flertal misstag och fadäser. I ett försök att minska andras listas här några av de erfarenheter jag gjort.

#### Användarvänlighet eller Användbarhet

Nya tekniker eller verktyg introduceras ofta utan tillräcklig planering av själva implementeringen. De sägs ibland vara idiotsäkra eller går ytterligare ett steg och hävdar ”förutsätter inga förkunskaper”. I myten om idiotsäkring är hjälten en maskin eller programvara så perfekt att den är immun mot användarnas begränsningar. Tyvärr är dessa system mer fokuserade på hur man förhindrar användarna från att skapa fel än av att förbereda användaren för oundvikliga svårigheter som uppkommer i det dagliga arbetet. Nästa myt erbjuder ett system så idiotsäkert att företaget förmodligen inte bara kan minska antalet arbetare utan också använda dem med mindre utbildning (lätta att ersätta!) och därmed få lägre lönekostnader. Tvärt emot vad som sägs i ovanstående myter visar forskning (Adler. Winograd. 1992) att i de flesta fall är ny teknik och nya verktyg mer effektiv om den förstärker i stället för ersätter den kunskap som användarna besitter. För att frigöra sig från ovanstående måste huvudkriteriet för användbarhet vara systemets eller verktygets förmåga att stödja och utnyttja personers fulla potential att förstå, lära och förändra.

Utformningen av systemets användbarhet måste också kunna hantera nyheter, improvisation och anpassning som kan uppkomma i arbetet (Adler. Winograd. 1992).

### **Skillnaden mellan att veta vad man ska göra och hur man ska göra det**

Vid användandet av generella tekniska verktyg uppkommer ibland situationen att en viss "Branschstandard" återspeglas i programmets användarinterface vilket kan leda till huvudbry och onödigt komplicerade "personliga" lösningar hos oerfarna användare eller hos användare med speciella behov (Läs träanvändare) som inte "ännu" tillgodosetts av programtillverkaren. Att då som användare ta sig tid att aktivt utnyttja olika CAD/FEM-forum på Internet kan inte bara hjälpa till lösa problem utan också fungera som utbildning genom att lättare skapa ett gemensamt arbetssätt bland alla verktygsanvändare.

### **Programvaruuppdateringar**

Uppgradering av CAD/FEM-programvara eller datorns operativsystem kan vara ett lyft genom att irriterande buggar tas bort eller nya efterlängtade eller förbättrade funktioner kommer till. Uppgraderingen kan också lätt uppfattas som ett nödvändigt ont genom de problem som kan uppkomma efter sådan installation i form av förändrat arbetssätt i program, problem med licenshantering, kollisioner med andra programversioner och därigenom förlorad arbetstid. Här måste var och en göra en bedömning om och när det skall göras. Bedömningen bör göras i samråd med dataansvarig eller motsvarande och om möjligt göras vid bestämda tider på året då annan service/städning kan utföras på dator och tillhörande utrusning.

### **Ordning och reda bland data och dokument**

Återanvändning av information är kostnadseffektivt men förutsätter då att den är lätt att återfinna. En bra namngivning av alla filer är därför A och O, helst bör filnamnet ange en tidpunkt eller version likväl som vad filen egentligen innehåller/föreställer. Numer finns också ibland denna hjälp inbyggd i mer avancerade CAD-system där katalogstruktur och filnamn är mer styrda för att uppnå kompatibilitet med PDM-system etc.

### **Trärelaterade svårigheter vid användning av 3D CAD och FEM**

Ett CAD/FEM program av idag räknar med exakta mått och hög måttnoggrannhet. Detta i kombination med måttavvikelse och relativt hög måttnoggrannhet vid tillverkning av plankor och brädor kan ge huvudbry för användaren av CAD/FEM.

Enligt Nordiskt trä sorteringsregler för sågat virke med tjocklek och bredd mindre än 100 mm Sort A-C tillåts måttavvikelsen -1mm - +3 mm vid 20% fuktkvot. Till massivträväggar hyvlas sedan trämaterialen efter torkning till nominellt mått. Måttavvikelse är vid hyvling låg men om materialet har varierande fuktkvot kan slutresultatet variera. Vid simuleringen är det dock relativt enkelt att göra en känslighetsanalys och därmed undersöka inverkan av eventuella måttfel.



Trä är också ett biologiskt material med stor variation på materialegenskaper (både mikro och makroskopiskt) relativt metaller, kompositmaterial och rena plaster. Det hela kompliceras ytterligare då träegenskaperna är olika i olika riktningar. Programvaran måste alltså kunna hantera och definiera ortotropa material och bör även kunna hålla reda på träkomponentens riktning/vridning då modellen modifieras.

### **6.3 Användning av produktmodeller i träbyggvärdekedjan**

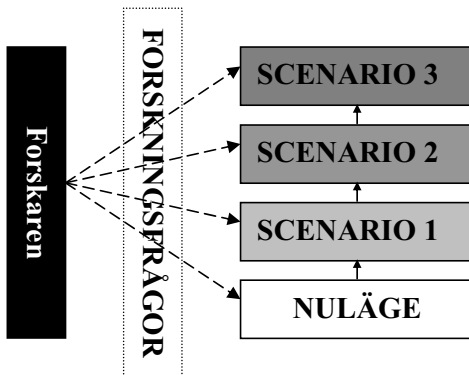
I boken Strategisk dialog introducerar (Borgbrant, 1989) en analysmodell för företagsutveckling. Syftet med den strategiska dialogen är att ge alla möjlighet att komma till tals, vara kreativa och bidra med sin kompetens och ta ansvar. Genom att använda sig av en sådan modell kan man försäkra sig att man täckt in alla väsentliga delar av nuläget. Modellen kan också användas som vision, ett stöd för planeringen av framtida mål och strategier. Genom att fastlägga nuläget med avseende på produktmodeller och sedan skissa på några tänkta framtidsscenarioer framträder nödvändiga förändringar som måste göras för att nå målen.

Nuläget kännetecknas av de deltagande företagens nyfikenhet och intresse för utveckling genom förvärv av nya verktyg och andra branschens metoder för gemensam produktutveckling. Specifikt avses samarbete med hjälp av produktmodeller och de verktyg som då krävs. Studien handlar om byggelement i massivträ och hur dessa beskrivs så att de passar in i produktmodelltänkandet, vilket innebär att analysmodellen anpassas efter de frågor som är intressanta och relevanta att svara på för just denna situation.

De övriga förutsättningarna som legat till grund för anpassningen av modellen har varit att huvudprojektet ConITwood legat på en så övergripande nivå att det inte varit av intresse att gå alltför djupt i analysmodellen. En annan given omständighet kommer från delprojektets karaktär där målbilden redan har definierats och analysen av de olika scenarierna kan därför användas som visioner eller delmål.

## Metod

Kartläggningen har gjorts genom samtal med representanter från Industrikonsortiet Massivträ, mediebevakning, samt en studie av litteratur i ämnet. Arbetet med fallstudien har också bidragit med erfarenheter och därmed påverkat situationen. Utifrån detta har sedan några tänkbara scenarier skapats. De olika scenarierna (Figur 6.1) bygger på olika grad av samverkan genom produktmodeller och kraven på förändring och utveckling listas sedan för att nå målet för samverkan.



Figur 6.1: Schematisk beskrivning av arbetsmetod för att ta fram tänkbara framtidsscenarier.

## Framtidsscenarier

I scenario 1 har acceptansen för och tillämpningen av produktmodeller gått framåt något. Flera företag använder sig av någon typ av gemensam standard för IT-samverkan med huvuddelen av sina interna och externa partners. Mjukvaruföretag har av allt större och starkare användarföreningar och industrikonsortier mer eller mindre tvingats till att data skall kunna exporteras utanför den egna plattformen. Klimatet för samverkan mellan parter är fortfarande inte så bra och lite av vinnaförlora andan finns fortfarande kvar. Ett antal forskningsprojekt finns påbörjade och ett spirande intresse för att investera i nya existerar. Företagsledningarna har fortfarande ett ganska litet intresse för att satsa på leverantörssamverkan då få fördelar som kan motivera ”merarbetet” av en satsning på produktmodeller påvisats hos de företag som försökt sig på detta (Tabell 6.1).

Tabell 6.1: Scenario 1

	<i>Sak</i>	<i>Klimat</i>	<i>Styrning</i>	<i>Resurs</i>
<b><i>Omvärld</i></b>	Några inslag av produktmodeller hos de företag som vill ligga långt fram i utvecklingen. Filformat-standarder utnyttjas i hög grad.	Inte så bra, produktmodeller betraktas ännu som något komplicerat.	Flera användarföreningar. Industrikonserter ställer krav. Nya uppdaterade standarder finns.	Fortfarande små resurser för forskning. Flera projekt pågår dock.
<b><i>Organisation</i></b>	Få företag tillämpar någon form av produktmodeller. Filformat-standarder utnyttjas emellertid.	Produktmodeller uppfattas fortfarande som komplicerat. Dåligt klimat för utveckling och tillämpning.	Vissa samarbetsavtal. Immaterialrättsfrågor blir mer och mer väsentliga.	Litet intresse som ger små interna satsningar i form av utrustning och utbildning.

I scenario 2 har produktmodeller slagit igenom i Sverige och världen. Tydliga vinster i kvalitet och totalkostnader kan påvisas. De företag som vill vara med på marknaden tillämpar någon form av produktmodeller. Vinna–Förlora andan har bytts mot en tydlig Vinna–Vinna anda och alla parter kan tillåtas tjäna pengar på en affär. Samverkan ses som en förutsättning för att få ”större” projekt lönsamma. En omfattande satsning på forskning pågår och produktmodeller finns för de flesta projekt (Tabell 6.2).

Tabell 6.2: Scenario 2

	<i>Sak</i>	<i>Klimat</i>	<i>Styrning</i>	<i>Resurs</i>
<b><i>Omvärld</i></b>	Stort genomslag för delproduktmodeller i Världen och Sverige.	Bra. Samverkan ses som en förutsättning för att få och genomföra ”stora” projekt.	Flera användarföreningar och Industri-konsortier ställer krav. Etablerade Standarder finns nu tillgängliga och utvecklas.	Omfattande forskning. Bra produktmodeller finns för många projekt och produkter.
<b><i>Organisation</i></b>	De flesta ”stora” företag tillämpar någon form av delproduktmodeller internt. Ökad responsivness.	Alla parter och aktörer kan tillåtas tjäna pengar på en affär och nya innovativa processer startas.	Övergripande avtal om samarbete och immaterialrätt. Få andra avtal behövs.	Företagsledningen stöder utveckling av standarder och produktmodeller. Personalen utbildas att nyttja produktmodeller.

I Scenario 3 tänker man sig att produktmodeller som tolkas av flera olika typer av program och applikationer är allmänt förekommande. Företag som vill vara med och slåss om marknadsandelar har en väl utvecklad samverkan med sina leverantörer och få avtal behövs. Klimatet för leverantörssamverkan och produktmodeller karakteriseras av orden nödvändigt och bra. En tydlig vinna-vinna anda karakteriserar samarbetet och alla parter tillåts tjäna pengar. Den ekonomiska vinsten delas efter en vid projektstart eller helst tidigare uppgjord plan. Många forskningsprojekt pågår och företagsledningar satsar mycket resurser på att skapa tillit och gemensamma mål för de samverkande företagen samt på att utbilda personal så att de kan utnyttja de nya IT-hjälpmiddel som finns och utvecklas. Alla parter i byggprocessen sitter ned tillsammans under projekteringen och under byggmöten för att diskutera och lösa eventuella problem på bästa möjliga sätt. Leverantören har ett brett utbud av produkter och färdiga element i varierande grad av färdigställande beroende på kundens önskemål. Leverantörssamverkan tillämpas i tillverkningsindustrin där man gör stora vinster i kvalitet, tid och på totalkostnader (Tabell 6.3).

Tabell 6.3: Scenario 3

	<i>Sak</i>	<i>Klimat</i>	<i>Styrning</i>	<i>Resurs</i>
<i>Omvärld</i>	Produktmodeller används fullt ut. Anpassade applikationer tas fram för nya kunder internt och externt.	Mycket bra. En uttalad förutsättning för att få ”stora som små” projekt.	Användarföreningar och Industri-konsortier utvecklar de etablerade standarder som finns tillgängliga och dessa används nu globalt.	Omfattande forskning.  Bra produkt-modeller finns för alla projekt.
<i>Organisation</i>	Alla företag tillämpar någon form av produktmodeller internt och externt. Stor ”responsivness” mot kunder.	En Vinna–Vinna anda råder. "Det var inte bättre förr." Innovativ samverkan med kunder.	Övergripande samarbetsavtal. Inga andra avtal är nödvändiga.	Företagsledning förordar och stöder utvecklingen.
<i>Grupp</i>	Kunskap om helheten. Insikt i kvalitet och kvantitet.	Öppet & Stödjande	Integration i organisationen och produktions-upplägg	Ekonomi Teknik Personal

### Analys av scenarier

Att från nuläget ta sig till de olika scenarierna kommer att kräva större eller mindre förändringar i såväl den egna såsom i andras organisationer. I analysmodellen söker man den förändring som krävs för att komma från ärläge till det tänkta börläget. Nedan följer en tolkning på vad som måste göras för att uppfylla de tre olika framtidsscenarierna.

I scenario 1 har delproduktmodeller och där tillhörande standarder accepterats. Företagen ser vissa fördelar genom ett passivt införande av nya verktyg och befintliga standarder. Möjligheterna provas i huvudsak internt och trevande försök görs genom att utveckla några delproduktmodeller som följer befintliga standarder. Detta scenario kan aktualiseras utan att samarbetsformerna utvecklas nämnvärt mellan aktörerna.

I scenario 2 har scenario 1 passerats och en mer aktiv roll har nu tagits att i samarbete utveckla nya produktmodeller och påverka den globala standarden för träbyggnade med allt vad det innebär. Detta scenario kräver att nya verktyg introduceras i företagen och att samarbetsformerna internt och externt utvecklats mot ett mycket öppet klimat baserat på tillit och trygghet.

I scenario 3 har vi uppnått ett läge där det råder en total leverantörssamverkan och alla aktörer kommunicerar via kontinuerligt förbättrade produktmodeller och gemensamt (med andra branscher) utvecklade standarder där produktdata är det

väsentliga. Tillgängligheten till information som andra aktörer bidragit med bestäms genom samarbetsavtal och avtal om immaterialrätt.

Observera att produktmodeller endast är en del av den totala verksamheten och för att utnyttja fördelarna fullt ut krävs naturligtvis utveckling i alla andra delar av verksamheten.

Sammanfattningsvis så förutsätter ett produktmodellperspektiv på produkten massivträväggar ett 3-dimensionellt tänkande i alla led. Ett första steg mot att skapa rätt förutsättningar för produktmodeller och träbyggande är att redan idag börja använda 3D-CAD. De olika programföretagen kan säkert göra en lång lista på fördelar med att gå från 2D till 3D-CAD men några av de viktigaste utöver det som nämnts ovan är:

- Den förbättrade visualiseringen i 3D förenklar kontroll och ger ett underlag till säljmaterial vilket också ger förbättrade möjligheter att effektivt kommunicera med de inblandade aktörerna från olika discipliner.
- Förbättrad kommunikation minskar risken för fel och förkortar tiden för projektering, därmed höjs produktens kvalitet samtidigt som produktionskostnaden sänks.
- Produktionsplanering och offertförfarande förenklas genom att mängdningen görs automatiskt, direkt i programmet.
- Data från 3D-CAD kan relativt enkelt överföras för programmering/styrning av CNC maskiner som exempelvis utför håltagning och annan bearbetning på massivträväggar.

Generella ingenjörswerktyg i form av CAD och FEM är trots dess brister vad avser trä och dess användning kraftfulla hjälpmedel och skulle redan nu i det vardagliga arbetet kunna nyttjas till exempelvis känslighetsanalys och gå till så att man tar fram olika konfigurationer på samma produkt med varierande mått på kritiska detaljer på grund av måttavvikelse och varierande materialdata som härrör från det faktum att vi använder biologiskt material. CAD och FEM ger då möjligheten att gaffla in var svagheter och kritiska mått finns i konstruktionen.

Genom att idag börja använda generella program med tillhörande standarder för fil och datautbyte förbättras insikten om de egna produkterna och möjligheterna ökar att så småningom direkt ansluta till andra företags IT-system och verktyg.

## **6.4 Slutsatser**

- Förutsättningen för införande av produktmodeller vid byggande i massivträ finns idag men kräver både digitala modeller i 3D dvs. 3D-CAD och standardiserade filformat. 3D-CAD beskriver detaljer eller produkter i 3 dimensioner och denna information är sedan genom standardiserade filformat strukturerad och lagrad på ett sådant sätt att den sedan enkelt kan kompletteras med andra data.
- Funktionaliteten hos generella tekniska verktyg är god med tillförlitliga resultat, men träanvändaren måste se till att FEM verktyget hanterar ortotropa material och vara medveten om bristerna vid simulering och analys av spikade förband.
- Vid CAD och FEM-arbete med trä är kraven på indata till de generella verktygen sådana att de relativt lätt kan mätas eller skattas genom användning av tabeller i exempelvis BKR (Anon, 1998).

## **6.5 Fortsatt arbete**

- Dimensioneringsförfarande för Brand och Ljud
- Inverkan av fuktpåkänningar och ensidig torkning.
- Energiberäkningar
- Ett bibliotek (databas) av olika förbandsspecifikationer och typfall för användning i FEM när linjärelastiska samband inte räcker till...
- När kommer vi till gränsen för lönsamhet, kopplingen till ursprungsproblemet med överskott på sidobrädor, suboptimeringsproblem etc.

## REFERENSER

### *Artiklar, Rapporter etc.*

Anon. 1994. Nordisk trä Sorteringsregler för sågat virke av furu och gran. (Blå boken)  
Föreningen Svenska Sågverksmän (FSS) Sverige  
Finlands Sågindustrimannaförening (FS) Finland  
Treindustiens Tekniska Forening (TTF) Norge  
Arbor Publishing, Stockholm.  
ISBN: 91-7322-175-9. (In Swedish)

Anon, 1998. Boverket: BKR Konstruktionsregler BFS 1993:58 med ändringar t.o.m  
BFS 1998:39. (Design Regulations BKR, issued by the Swedish national board of  
housing, building and planning)  
ISBN:91-7147-455-2, ISSN:1100-0856, 1998. (In Swedish)

Adler, P. & P. 1987. Membership Roles in Field Research. University of Colorado,  
Dept of Sociology, Boulder, CO, US  
Sage Publications, Thousand Oaks, CA, US .  
ISBN: 0803925786

Adler, P. Winograd, T. 1992. USABILITY: Turning Tehnologies into Tools. Oxford  
University Press, 1992.

Berg, B. 1989. Qualitative Research Methods for the Social Sciences. Boston: Allyn  
& Bacon.

Blumer, H. 1969. On the methodological status of symbolic interactionism. In H.  
Blumer, Symbolic interactionism (pp. 1-60). Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Borgbrant, J. 1989. Strategisk dialog.  
ISBN 91-27-01715-X

Brege, S. Johansson, H-E. Pihlqvist, B. 2004. Trämanufaktur det systembrytande  
innovationssystemet. VINNOVA Analys, VA 2004:02. ISBN: 91-85084-08-5. ISSN  
1651-355X

Carlsson, B. Josephson, P-E. 2001. Kommunikation I byggprojekt. Verkligheter och  
Möjligheter.

Celander, L. 2003. En skonsam men effektiv introduktion STEP. Azelia AB,  
Göteborg, Sverige  
[www.azelia.se](http://www.azelia.se)



Chua, W.F. 1986. "Radical Developments in Accounting Thought," *The Accounting Review* (61), pp. 601-632

Cigén, S. 2003. Materialleverantören i byggprocessen, En studie av kommunikationen mellan träkomponentleverantören och byggprocessens övriga aktörer. Licentiatuppsats, Institutionen för Väg- och vattenbyggnad. Avdelningen för Träbyggnad Luleå Tekniska Universitet.  
2003:14, ISSN 1402-1757, 2003. (In Swedish)

Foschi, R.O. Bonac, T. 1977. Load-Slip characteristics for connections with common nails. *Wood Science* 9(3), pp. 118-123.

Fredriksson, Y. 2003. Samverkan mellan träkomponenttillverkare och stora byggföretag. Licentiatuppsats, Institutionen för Väg- och vattenbyggnad. Avdelningen för Träbyggnad Luleå Tekniska Universitet.  
2003:69, ISSN 1402-1757, 2003. (In Swedish)

Freilich, M. 1970. *Marginal natives: Anthropologists at work*. New York: Harper and Row.

Froese, T. 1996. "STEP Data Standards And The Construction Industry," CSCE Annual Conference (Volume I); Proceedings of the 1996 Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Edmonton, Alberta, May 29 to June 1, 1996. CSCE, Montreal, Canada, 1996. Vol. 1, pp. 404-415.

Gold, R. 1958. Roles in sociological field observations. *Social Forces*, 36, 217-223.

Gustafsson, A. Jacobsson, P. 2002. Optimering av limmade trärelement. Rapport 0210035. AB Trätec

Gustafsson, A. Jakobsson, P. 2002. Prov 020328. Stumskarvars inverkan på skivors fiktiva böj E-modul. AB Trätec

Howard, R. 1998. *Computing in Construction, Pioneers and the future*  
ISBN 0-7506-3606-8

Ingels, D.M. 1985. *What every Engineer should know about Computer Modelling and Simulation*.  
ISBN 0-8247-7444-2

Jakobsson, P. 1999. Massiva byggkomponenter tillverkade av sidobrädor, Produkten. Examensarbete, Civilingenjörsprogrammet i Maskinteknik, Träteknik, Luleå Tekniska Universitet.  
ISSN: 1402-1617, ISRN: LTU-EX-199/93-SE, 1999. (In Swedish)

Johansen, K.W. 1949. Theory of timber connections. International Association of Bridge and Structural Engineering. Publication 9. pp 249-262.

Junker, B. (1960). Field work. Chicago: University of Chicago Press.

Kuenzi, E.W. 1955. Theoretical design of a nailed or bolted joint under lateral load. Forest Prod. Lab., USDA, Madison, Wis., Report No. D1951.

Kupiers, J. Van der Put, T.A.C.M. 1982. Betrachtungen zum Bruchmechanismus von Nagelverbindungen. Ingenieurholzbau in Forschung und Praxis. Bruderverlag, Karlsruhe.

Leijten, A.J.M. Köhler, J. 2004. COST Action E24. Evaluation of embedment strength data for reliability analyses of connections with dowel type fasteners. European CO-operation in the field of Scientific and Technical Research. <http://cordis.COST.lu>

Lindgren, L-E. 2004. The Finite Element Method, basic course. [http://www.mt.luth.se/~lel/LEL\\_WEBCOURSES/FEM\\_Basic\\_Course/FEM\\_Basic\\_Web\\_Overview\\_Gen.htm](http://www.mt.luth.se/~lel/LEL_WEBCOURSES/FEM_Basic_Course/FEM_Basic_Web_Overview_Gen.htm)

Lofland, J. & L. 1984. Analyzing Social Settings. Belmont, CA: Wadsworth.

Noack, R. 2001. Converting CAD Drawings to Product Models. Licentiate Thesis, Division of Construction Management and Economics, Department of Real Estate and Construction Management, Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2001. ISBN 91-7283-067-0

Norén, B. 1962. Nailed Joints – a contribution of the theoretical analysis of yield and strength. Swedish Forest Prod. Res. Lab., Stockholm Medd. 123B.

Ottosen, N. Petersson, H. 1992. Introduktion to the FINITE ELEMENT METHOD. University of Lund, Sweden ,1992. ISBN 0-13473877-2.

Persson, S. 2000. Informationsstöd för stomsystem i trä. –Ett sätt att skapa mervärde. Avdelningen för Konstruktionsteknik, Lunds Tekniska Högskola /Lunds Universitet. ISSN 0349-4969, 2000. (In Swedish)

Peshkin, A. 1984. Odd man out: The participant observer in an absolutist setting. Sociology of Education, 57, 254-264.

Pietroforte, R. 1997. Communication and governance in the building process, Construction Management and Economics, Vol 15. 15,pp. 71-82. Worcester Polytechnic Institute.

Rodd, P.D. 1973. The analysis of timber joints made with circular dowel connectors. PhD Dissertation, University of Sussex, UK.

Russel, J.S. Norvig, P. 1995. Artificial Intelligence – A Modern Approach, Prentice-Hall International Inc.

SAOL, 1986. Svenska Akademiens ordlista över det svenska språket. Svenska Akademin, 11 upplagan, Åttonde tryckningen. Norstedts Förlag, 1986. ISBN 91-1-863722-1

Turner, M. J. Clough, R. W. Martin, W. C. and Topp, L. J. 1956. Stiffness and deflection analysis of complex structures, J. Aeron. Sci., 23, pp. 805–824.

Von Platen, F. 2004. Mer trä i byggandet - Underlag för en nationell strategi att främja användning av trä i byggandet. Ds 2004:1, Näringsdepartementet. ISBN 91-38-22072-5 ISSN 0284-6012

Whale, L.R.J, Smith, I, Hilson B.O. 1989. Characteristic properties of nailed and bolted joints under short-term lateral load. Part 4 – The influence of testing mode and fastener diameter upon embedment test data. J. Institute of Wood Science, 11(5), 156-161.

Wikforss, Ö. 1999. Byggnadskonst med och utan hus, Byggnadsindustrin nr 38 Sweden.

Wilkinson, T.L. 1971. Theoretical lateral resistance of nailed joints. J. Struct.Div. ASCE 97:1381-1398.

Wilkinson, T.L. 1986. Load distribution among bolts parallel to load. J. Structural Engineering 112(4) pp. 835-852.

## **Standarder**

EN 383: Timber structures - Test methods - Determination of embedding strength and foundation values for dowel type fasteners. Träkonstruktioner - Hållkanthållfasthet och bäddmodul för dymlingformade förbindare – Provning.

EN 408: Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties. Träkonstruktioner - Konstruktionsvirke och limträ - Bestämning av vissa fysiska och mekaniska egenskaper.

EN 1380: Timber structures - Test methods - Loadbearing nailed joints. Träkonstruktioner - Bärande spikförband – Provning

EN 1995-1-1:2004(E) Eurocode 5 - Design of timber structures  
Part 1-1:General – Common rules and rules for buildings.

EN 26891:1991 Timber Structures. Testing of joints made with mechanical fasteners, General principles for the determination of strength and deformation characteristics.

## **Internetreferencer**

Apple, 2005	<a href="http://www.apple.com">www.apple.com</a>
ArchieCAD, 2005	<a href="http://www.graphisoft.com">www.graphisoft.com</a>
Autodesk, 2005	<a href="http://www.autodesk.com">www.autodesk.com</a>
buildingSMART, 2005	<a href="http://www.buildingsmart.org.au">www.buildingsmart.org.au</a>
CosmosWorks, 2005	<a href="http://www.cosmosm.com">www.cosmosm.com</a>
GDL Alliance, 2005	<a href="http://www.gdlalliance.com">www.gdlalliance.com</a>
IBM, 2005	<a href="http://www.ibm.com">www.ibm.com</a>
Intel, 2005	<a href="http://www.intel.com">www.intel.com</a>
IAI, 2005	<a href="http://www.iai-international.org">www.iai-international.org</a>
ISO, 2005	<a href="http://www.iso.org">www.iso.org</a>
IT i bygg och fastighet, 2002	<a href="http://www.itbof.com">www.itbof.com</a>
IVF, 2005	<a href="http://www.ivf.se">www.ivf.se</a>
Massivträhandboken, 2002	<a href="http://www.solidwood.nu">www.solidwood.nu</a>
Microsoft, 2005	<a href="http://www.microsoft.com">www.microsoft.com</a>
Norra Massivträ AB, 2005	<a href="http://www.norraskogsagarna.se">www.norraskogsagarna.se</a>
SIS, 2005	<a href="http://www.sis.se">www.sis.se</a>
Solidworks, 2005	<a href="http://www.solidworks.com">www.solidworks.com</a>
Svensk byggtjänst, 2005	<a href="http://www.bsab.byggtjanst.se">www.bsab.byggtjanst.se</a>
Svenskt Limträ, 2005	<a href="http://www.svensktlimtra.se">www.svensktlimtra.se</a>
World Wide Web Consortium, 2005	<a href="http://www.w3.org">www.w3.org</a>
XML akademin, 2005	<a href="http://www.xmlakademin.nu">www.xmlakademin.nu</a>

## **BILAGOR**

- BILAGA 1: Exempel på GDL Script i 3D med resulterande Väggelement
- BILAGA 2: Exempel på STEP, ISO 10303-21 eller IFC fil
- BILAGA 3: LV X3, Limmad korslagd treskiktsvägg
- BILAGA 4: LV X5, Limmad omlottlagd femskiktsvägg med korslagda mittskikt
- BILAGA 5: KB T1, Limmad omlottlagt massivträbjälklag 5Liv
- BILAGA 6: KB T2, Limmad omlottlagt massivträbjälklag 2Liv
- BILAGA 7: KB T3, Limmad omlottlagt massivträbjälklag 2Liv
- BILAGA 8: 834, Spikad Vägg
- BILAGA 9: 434, Spikad Vägg
- BILAGA 10: 820, Spikad Vägg
- BILAGA 11: 820B, Spikad Vägg
- BILAGA 12: E-modul och densitet för olika material (IVF, 2005)

## BILAGA 1: Exempel på GDL Script i 3D med resulterande Väggelement

```
! Massive Wall Framing Solidwood Wrapover 3ply board 2ply
! By KGB @ AB Träteck
! 20020214
! Length/ width   Längd/Bredd  a=Xdim
! Thickness/Depth Tjocklek/Djup b=Ydim
! Height          Höjd         c=Zdim

! Make the first board layer OK
    Addy FKompYdim
    Brick A,Board1Ydim,C
    Addy -FKompYdim

! Make the second board layer OK
    Addy (FKompYdim+Board1Ydim+CKompYdim)
    Brick A,Board2Ydim,C
    Addy (-FKompYdim-Board1Ydim-CKompYdim)

! Make the Facelayers of wood OK
    For I=1 to INT (A/FKompXdim)
        Brick FKompXdim,FKompYdim,C
        Addy (FKompYdim+CKompYdim+Board1Ydim+Board2Ydim)
        Brick FKompXdim,FKompYdim,C
        Addy (-FKompYdim-CKompYdim-Board1Ydim-Board2Ydim)
        Addx FKompXdim
    Next I

! Make the Endpiece of the first and third layer of wood OK
    Brick (-(INT(A/FKompXdim)*FKompXdim)+A),FKompYdim,C
    Addy (FKompYdim+CKompYdim+Board1Ydim+Board2Ydim)
    Brick (-(INT(A/FKompXdim)*FKompXdim)+A),FKompYdim,C
    Addy (-FKompYdim-CKompYdim-Board1Ydim-Board2Ydim)
    Addx (-(INT(A/FKompXdim)*FKompXdim)+A) !
    Addx (-A)

! Koordinates now at (0.0.0)

! Make the Initial, Secondlayer Halfpiece of wood OK
    Addy (FKompYdim+Board1Ydim)
    Brick CKompXdim/2,CKompYdim,C
    Addy (-FKompYdim-Board1Ydim)

! Make the second (Center) layer of wood OK
    Addx (0.5*CKompXdim)
    Addy (FKompYdim+Board1Ydim)
    For I=1 to INT ((A-(0.5*CKompXdim))/CKompXdim)
    IF (I*CKompXdim)<=A THEN
        Brick CKompXdim,CKompYdim,C
    ELSE
    ENDIF
    Addx CKompXdim
Next I
```

```

    Addy (-FKompYdim-Board1Ydim)

! Make the Endpiece of the second layer of wood if
! counter quits to soon. (ie Fraction part is bigger than 0.5) OK
    IF FRA (A/CKompXdim) > 0.5 THEN
        Addy (FKompYdim+Board1Ydim)
        Brick (A - ((INT
(A/CKompXdim))+0.5)*CKompXdim),CKompYdim,C
        Addy (-FKompYdim-Board1Ydim)
    ELSE
        Addy (FKompYdim+Board1Ydim)
        Brick (A - ((INT (A/CKompXdim))-0.5)*CKompXdim),CKompYdim,C
        Addy (-FKompYdim-Board1Ydim)
    ENDIF

End

```

Indata till GDL skript är Parametrar för komponenter enligt Figur 1 nedan  
Väggelement 68x1200x2400, Figur 2 bestående av 3 lager Brädor 20x70x2400 separerade med 2  
lager av Boardskivor 4x1200x2400.  
Observera att GDL Skript delar första centrumbrädan för att erhålla omlottläggning mellan skikten  
och justerar sedan bräddimensioner så att X dim d v s elementets bredd blir 1200mm

Figur 1: Parameterlista för objektet Wrapover 3ply Board 2ply

Figur 2: Genomskäring av massivvägg Wrapover 3ply Board 2ply



## BILAGA 2: Exempel på STEP, ISO 10303-21 eller IFC fil

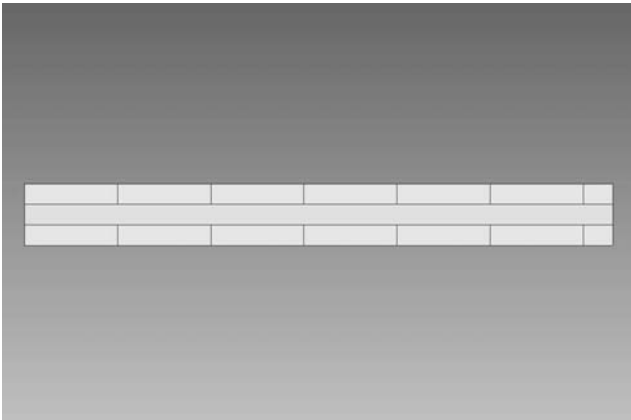
```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION (('ArchiCAD generated IFC file.', '2;1');
FILE_NAME ('Wrapover_3ply_Board_2Ply.IFC', '2004-11-02T21:01:39', ('Architect'), ('Building
Designer Office'), 'PreProc - IFC Toolbox Version 2.0 (99/07/01)', 'Windows System', 'The
authorising person.');
```

```
FILE_SCHEMA (('IFC20_LONGFORM'));
ENDSEC;
DATA;
#2 = IFCDIRECTION ((0., 1., 0.));
#6 = IFCPERSON ('FamilyName', $, $, $, $, (), ());
#7 = IFCORGANIZATION ('OrganizationName', (), (0, $));
#8 = IFCORGANIZATION ('Graphisoft', (), (0, $));
#9 = IFCAPPLICATION ('ArchiCAD', 'ArchiCAD 6.5 (Graphisoft)', '6.5', #8);
#10 = IFCPERSONANDORGANIZATION (#6, #7, ());
#11 = IFCTRANSACTION (1099425697, #10, #9);
#12 = IFCAUDITTRAIL (1099425697, $, #10, $, #9, $, (#11));
#14 = IFCSIUNIT (*, .LENGTHUNIT., .MILLI., .METRE.);
#15 = IFCSIUNIT (*, .AREAUNIT., $, .SQUARE_METRE.);
#16 = IFCSIUNIT (*, .VOLUMEUNIT., $, .CUBIC_METRE.);
#17 = IFCSIUNIT (*, .MASSUNIT., $, .GRAM.);
#18 = IFCSIUNIT (*, .TIMEUNIT., $, .SECOND.);
#19 = IFCSIUNIT (*, .DURATIONUNIT., $, .SECOND.);
#20 = IFCSIUNIT (*, .THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT., $, .DEGREE_CELSIUS.);
#21 = IFCSIUNIT (*, .LUMINOUSINTENSITYUNIT., $, .LUMEN.);
#22 = IFCUNITSIGNMENT ((#14, #15, #16, #17, #18, #19, #20, #21));
#27 = IFCBUILDING ('0p=9Vx9UKE,t@gTJtxu$', #13, $, $, (), #26, (), $, $, $, $, $, $, $);
#26 = IFCLOCALPLACEMENT ('eQ7WfV>?xOKC?!/.Upm|', #13, $, #25, #5);
#25 = IFCSITE ('LHZUlyP8Hw~p/iukd/BR', #13, $, $, (), #24, (), $, $, $, $, $, $, $);
#3 = IFCDIRECTION ((0., 0., 1.));
#1 = IFCDIRECTION ((1., 0., 0.));
#24 = IFCLOCALPLACEMENT ('cWNWHs+B;wssOyHH;XSO', #13, $, #23, #5);
#23 = IFCPROJECT ('zcAOx~&YkOIHJq4wJJg', #13, $, $, (), $, $, $, #22, $, #5);
#5 = IFCAXIS2PLACEMENT3D (#4, #3, #1);
#4 = IFCCARTESIANPOINT ((0., 0., 0.));
#28 = IFCAXIS2PLACEMENT3D (#4, #3, #1);
#29 = IFCLOCALPLACEMENT ('vn2RRY;nbOkGtEE3N9vW', #13, $, #27, #28);
#13 = IFCOWNERHISTORY (#10, #9, "10", 'ArchiCAD', 'Graphisoft', #12);
#30 = IFCBUILDINGSTOREY ('@cB~.2p=6jqKy62<^Ns', #13, $, $, (), #29, (), $, 'ACID1', "", 0.,
$, $, $);
#31 = IFCBOUNDINGBOX (#4, 1200.000000000001, 68., 2400.);
#32 = IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT ('f_WDzdLK,^3T^8jQ?Yf*', 'Plan',
'Outline', 3, 0.0001);
#33 = IFCSHAPE REPRESENTATION (#32, 'IAI', 'BoundingBox', (#31));
#34 = IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE ('c=>wIlV46al~xf;B<e', #13, $, 'Object', (#33));
#35 = IFCAXIS2PLACEMENT3D (#4, #3, #1);
#36 = IFCLOCALPLACEMENT ('3f$%?n/ef~C#6e+MdQYS', #13, $, #30, #35);
#37 = IFCSIMPLEPROPERTY ('LAYERNAME', IFCDESCRIPTIVEMEASURE ('A-15S---
Grundkonstruktioner1'));
#38 = IFCSIMPLEPROPERTY ('INFO', IFCDESCRIPTIVEMEASURE ('Obj.-001'));
```

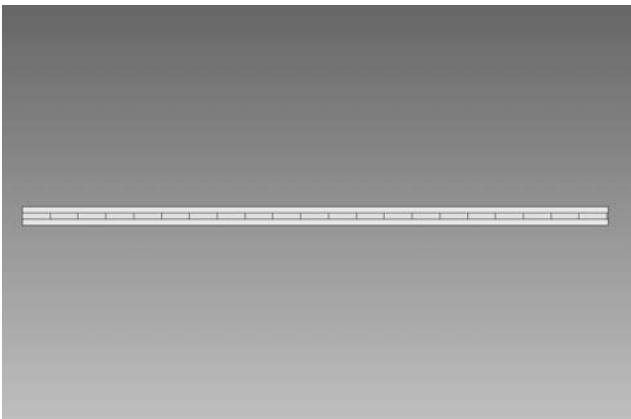
#39 = IFCSIMPLEPROPERTY ('PEN', IFCDESCRIPTIVEMEASURE ('Pen2'));  
 #40 = IFCSIMPLEPROPERTY ('MAT', IFCDESCRIPTIVEMEASURE ('02.Furu'));  
 #41 = IFCSIMPLEPROPERTY ('LTYPEIND', IFCDESCRIPTIVEMEASURE ('Heldragen linje'));  
 #42 = IFCSIMPLEPROPERTY ('SECTFILL', IFCDESCRIPTIVEMEASURE ('trä'));  
 #43 = IFCSIMPLEPROPERTY ('SECTFILLPEN', IFCDESCRIPTIVEMEASURE ('Pen1'));  
 #44 = IFCSIMPLEPROPERTY ('SECTBGPEN', IFCDESCRIPTIVEMEASURE ('Missing Pen (0)'));  
 #45 = IFCSIMPLEPROPERTY ('SECTCONTPEN', IFCDESCRIPTIVEMEASURE ('Pen2'));  
 #46 = IFCSIMPLEPROPERTY ('USEOBJMATERIALS', IFCINTEGER (1));  
 #47 = IFCSIMPLEPROPERTY ('ANGLE', IFCNUMERICMEASURE (0.));  
 #48 = IFCSIMPLEPROPERTY ('LEVEL', IFCNUMERICMEASURE (0.));  
 #49 = IFCSIMPLEPROPERTY ('POSX', IFCNUMERICMEASURE (0.));  
 #50 = IFCSIMPLEPROPERTY ('POSY', IFCNUMERICMEASURE (0.));  
 #51 = IFCSIMPLEPROPERTY ('XRATIO', IFCNUMERICMEASURE (1.2));  
 #52 = IFCSIMPLEPROPERTY ('YRATIO', IFCNUMERICMEASURE (0.06800000000000001));  
 #53 = IFCSIMPLEPROPERTY ('SHOWALWAYS', IFCINTEGER (0));  
 #54 = IFCSIMPLEPROPERTY ('SHOWABOVE', IFCINTEGER (0));  
 #55 = IFCSIMPLEPROPERTY ('SHOWBELOW', IFCINTEGER (0));  
 #56 = IFCPROPERTYLIST ('OBJECT', \$, \$, (#37, #38, #39, #40, #41, #42, #43, #44, #45, #46, #47, #48, #49, #50, #51, #52, #53, #54, #55));  
 #58 = IFCSIMPLEPROPERTY ('API\_LIBNAME', IFCSTRING ('SWWrapover\_3ply\_Board\_2ply'));  
 #59 = IFCSIMPLEPROPERTY ('A', IFCNUMERICMEASURE (1.2));  
 #60 = IFCSIMPLEPROPERTY ('B', IFCNUMERICMEASURE (0.06800000000000001));  
 #61 = IFCSIMPLEPROPERTY ('C', IFCNUMERICMEASURE (2.4));  
 #62 = IFCSIMPLEPROPERTY ('FKompXdim', IFCNUMERICMEASURE (0.07000000000000001));  
 #63 = IFCSIMPLEPROPERTY ('FKompYdim', IFCNUMERICMEASURE (0.02));  
 #64 = IFCSIMPLEPROPERTY ('CKompXdim', IFCNUMERICMEASURE (0.07000000000000001));  
 #65 = IFCSIMPLEPROPERTY ('CKompYDim', IFCNUMERICMEASURE (0.02));  
 #66 = IFCSIMPLEPROPERTY ('XKompYdim', IFCNUMERICMEASURE (0.07000000000000001));  
 #67 = IFCSIMPLEPROPERTY ('XKompXdim', IFCNUMERICMEASURE (0.02));  
 #68 = IFCSIMPLEPROPERTY ('Board1Ydim', IFCNUMERICMEASURE (0.004));  
 #69 = IFCSIMPLEPROPERTY ('Board2Ydim', IFCNUMERICMEASURE (0.004));  
 #70 = IFCSIMPLEPROPERTY ('Mtrl', IFCNUMERICMEASURE (14.));  
 #71 = IFCSIMPLEPROPERTY ('Pencil', IFCNUMERICMEASURE (162.));  
 #72 = IFCPROPERTYLIST ('LIBPARAM', \$, \$, (#58, #59, #60, #61, #62, #63, #64, #65, #66, #67, #68, #69, #70, #71));  
 #57 = IFCEXTENSIONPROPERTYSET ('.\*u =IDFQb\$Qy<rE\_vy', #13, 'ExtendedProperty', 'Graphisoft AC65', (#56, #72), 'Graphisoft AC65');  
 #74 = IFCREASSIGNSPROPERTIES (';k4G;<P' &3/sa4D\$0P:I', #13, 'ExtendedProperties', .F., .F., #57, (#73), 'ArchiCAD');  
 #73 = IFCPROXY ('1kD87dCx<rn~lf~/zWO', #13, 'Object#4', \$, (), .PRODUCT., #36, (#34));  
 #75 = IFCRELCONTAINS ('S=HCw%zaFZ:j,SCXECbl', #13, \$, .T., .F., #30, (#73), .BUILDINGSTOREYCONTAINER., .CONTAINED.);  
 #76 = IFCRELCONTAINS ('#JPqp?EO1R\$J;8d\*S/>|', #13, \$, .T., .F., #27, (#30), .BUILDINGCONTAINER., .CONTAINED.);  
 #77 = IFCRELCONTAINS ('2rJFEtz%4jf;hzfeCw~T', #13, \$, .T., .F., #25, (#27), .SITECONTAINER., .CONTAINED.);

```
#78 = IFCRELCONTAINS ('RoZ4lwTDN&|qu5<S,JSe', #13, $, .T., .F., #23,  
(#25), .PROJECTCONTAINER., .CONTAINED.);  
ENDSEC;  
END-ISO-10303-21;
```

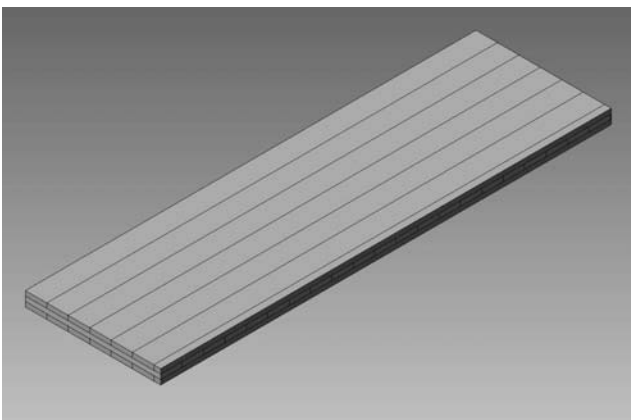
### BILAGA 3: LV X3, Limmad korslagd treskiktsvägg



Figur 1: Tvärsnitt



Figur 2: Sidovy

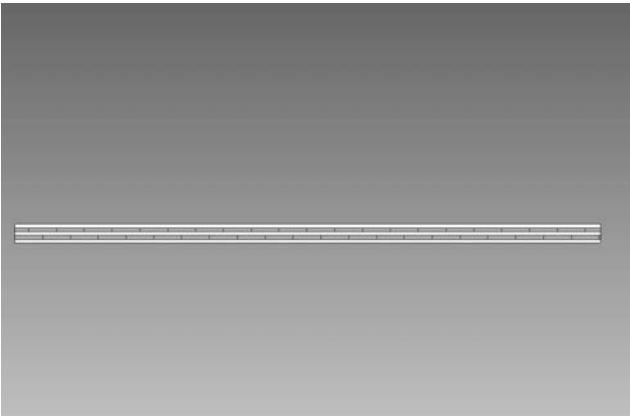


Figur 3: Isometrisk 3D vy

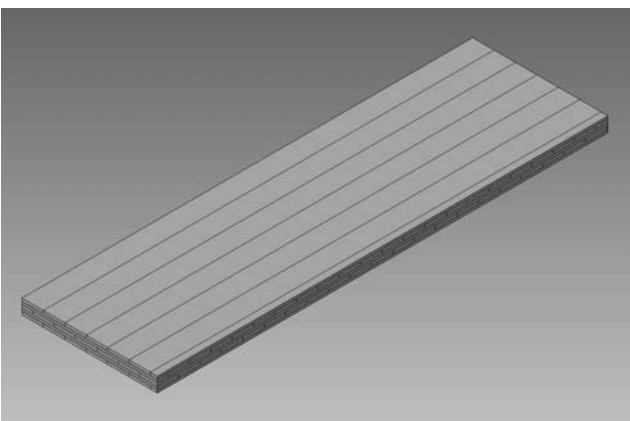
**BILAGA 4: LV X5, Limmad omlottlagd femskiktsvägg med korslagda mittskikt**



Figur 1: Tvärsnitt

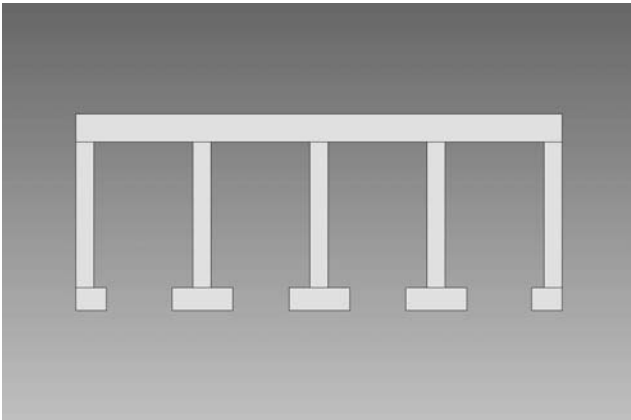


Figur 2: Sidovy

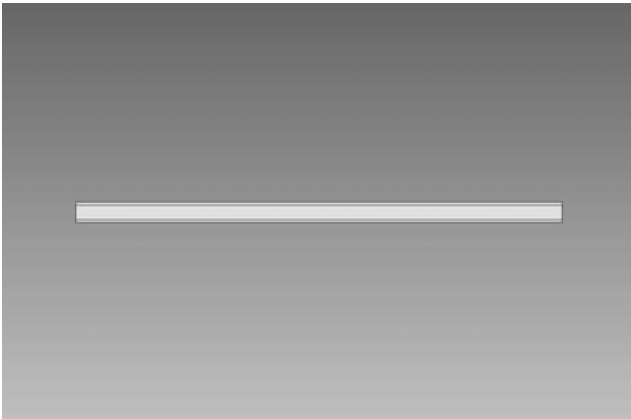


Figur 3: Isometrisk 3D vy

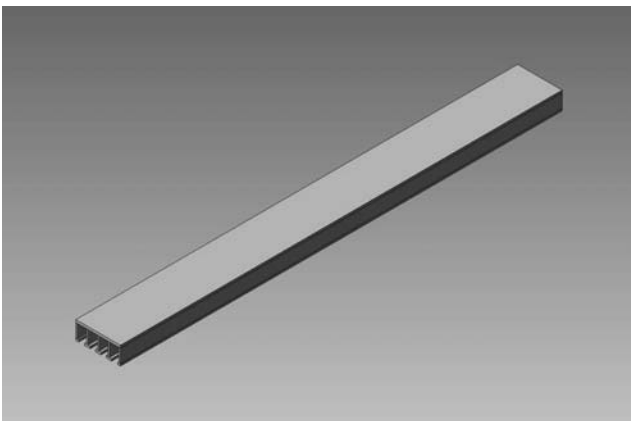
## BILAGA 5: KB T1, Limmad omlottlagt massivträbjälklag 5Liv



Figur 1: Tvärsnitt



Figur 2: Sidovy



Figur 3: Isometrisk 3D vy

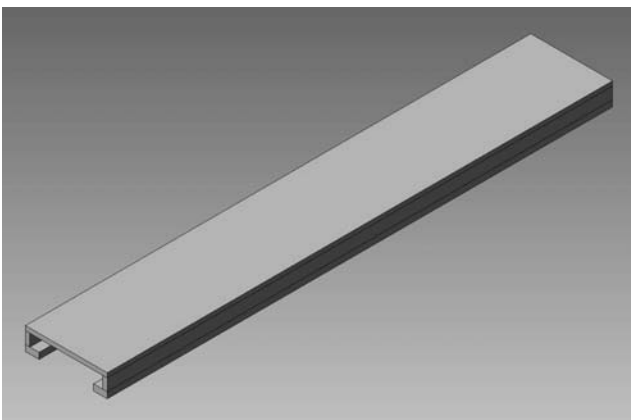
## BILAGA 6: KB T2, Limmad omlottlagt massivträbjälklag 2Liv



Figur 1: Tvärsnitt



Figur 2: Sidovy



Figur 3: Isometrisk 3D vy

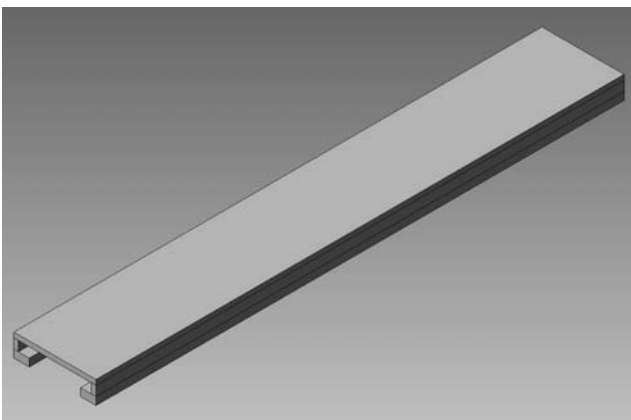
## BILAGA 7: KB T3, Limmad omlottlagt massivträbjälklag 2Liv



Figur 1: Tvärsnitt



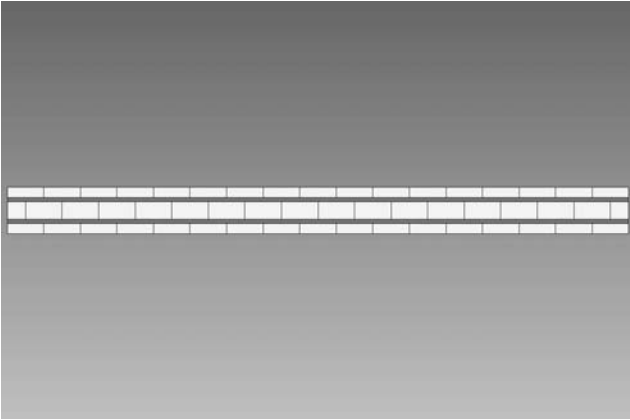
Figur 2: Sidovy



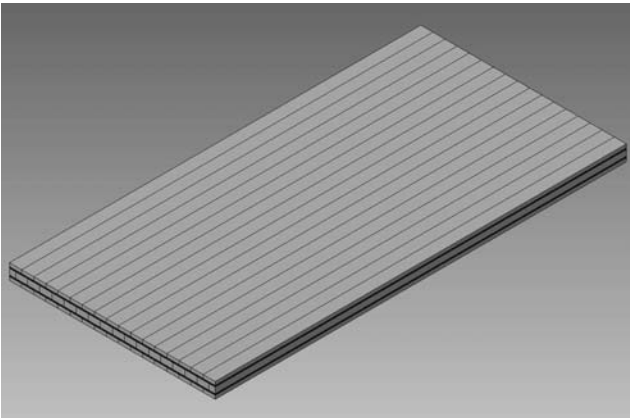
Figur 3: Isometrisk 3D vy



## BILAGA 8: 834, Spikad Vagg

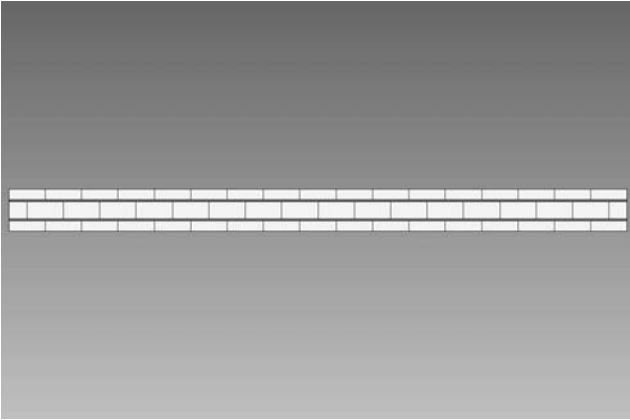


Figur 1: Tvärsnitt

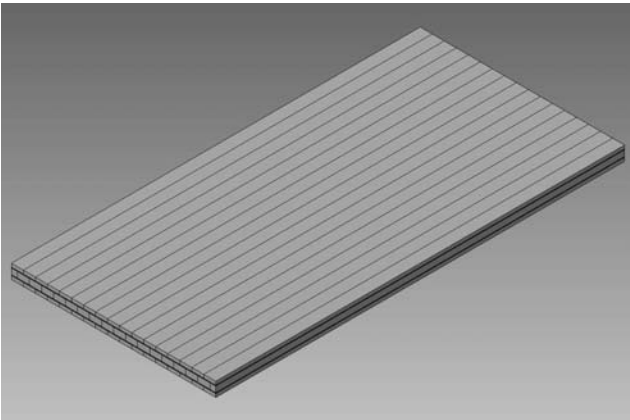


Figur 2: Isometrisk 3D vy

## BILAGA 9: 434, Spikad Vagg

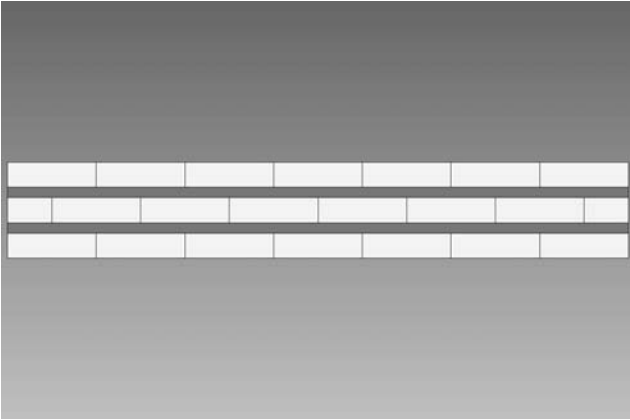


Figur 1: Tvärsnitt

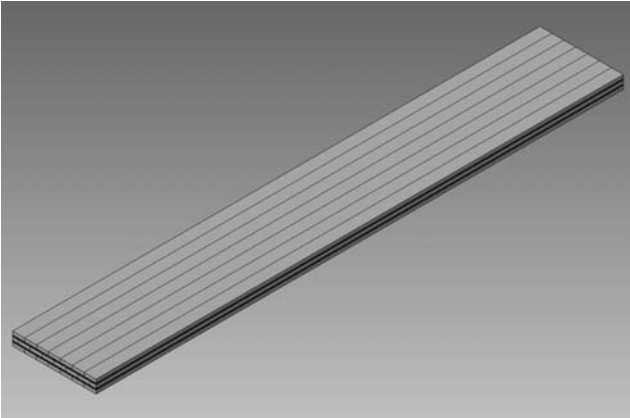


Figur 2: Isometrisk 3D vy

## BILAGA 10: 820, Spikad Vagg

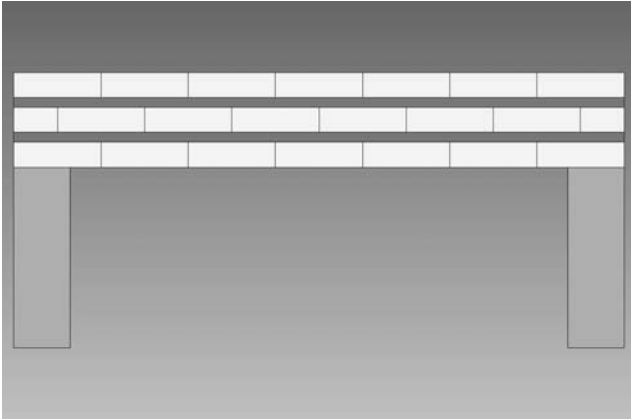


Figur 1: Tvärsnitt

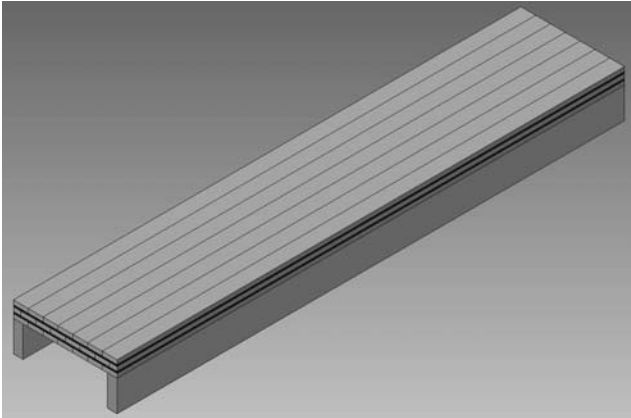


Figur 2: Isometrisk 3D vy

## BILAGA 11: 820B, Spikad Vägg



Figur 1: Tvärsnitt



Figur 2: Isometrisk 3D vy

## BILAGA 12: E-modul och densitet för olika material (IVF, 2005)

