



Linnéuniversitetet

Kalmar Växjö

Projektrapport

Förutsättningar för produktion av CLT i södra Sverige

Förstudie



Författare: Slutrapport 2016-007

Jan Oscarsson, Linnéuniversitetet

Johan Blixt, Vida AB

Datum: 2016-09-18



Sammanfattning

Marknaden för CLT ökar, framförallt i Europa men även i de nordiska länderna. Produktionen i Sverige är inte tillräcklig för den svenska marknaden och därför importeras betydande volymer från andra Europeiska länder och då framförallt från Österrike där det finns såväl tradition som erfarenhet från CLT-produktion. Dessutom är marknaden för CLT större i de centrala delarna av Europa. Transportkostnaden är betydande för import av CLT (ca 15–20 %) till byggplatset i södra Sverige. Samtidigt är Sverige en nettoexportör av trävaror.

I vår utredning finner vi att en investering i CLT-produktion på 100 miljoner kr i södra Sverige kan bli lönsam vid en årsproduktion och försäljning på minst 10 000 m³ och att man kan ta del av den transportfördel som en svensk producent har. Den angivna volymen motsvarar leveranser till ca 350 lägenheter per år eller till 1 % av det årliga behovet av nyproducerade lägenheter i Sverige. Till detta finns möjlighet att leverera till sporthallar, industrilokaler, kontorskomplex, skolor samt även exportmöjligheter.

Utredning visar att ett MUF-lim är att föredra ur en teknisk aspekt.

Att tillverka CLT kan vara en bra väg för sågverksindustrin att förädla sidobräder och centrumvirke av lägre kvalitet till en högvärdesprodukt. Vidare visar utredningen att försäljningsarbetet till byggare är annorlunda än försäljning av virke då det krävs mer av CLT-leverantören när det gäller dimensionering m.h.t. till brand, ljud och hållfasthet. Det är ett större åtagande och kräver mer ingenjörskunskap hos leverantören. Sågverksindustrin i södra Sverige har normalt inte den kompetensen och därför utgör detta ett hinder för att den industrin ska ta steget till att investera i CLT-produktion.

För att underlätta etablering av CLT-tillverkning i södra Sverige, som skulle gynna en utveckling av byggande med trä genom en lokal försörjning, skulle framtagande av ett öppet byggsystem som hade standardiserade tekniska lösningar vara av stor hjälp.

Denna förstudie är finansierad av CBBT och Smart Housing Småland och vår rekommendation är att uppmuntra fler ansökningar inom CLT-byggande. Det finns en hel del tekniska lösningar som inte är standardiserade och ”smarta” och därmed inte kostnadseffektiva. Som vi har fått erfara i intervjuer med byggare så framkommer det att man måste improvisera en hel del och många gånger finna egna lösningar på byggtekniska problem som uppstår. Detta upplevs som en begränsning i användande av CLT och är givetvis en förbättringspotential!



Innehåll

1	Introduktion	5
1.1	Bakgrund	5
1.2	Syfte	8
1.3	Mål	8
1.4	Projektdeltagare	8
2	Standarder och certifieringskrav för CLT	9
2.1	Eurocode 5 – dimensioneringsregler för träkonstruktioner	9
2.2	CE-märkning av byggprodukter	9
2.2.1	Obligatorisk eller frivillig CE-märkning	9
2.2.2	CE-märkning av CLT	10
2.2.3	Harmoniserad CLT-standard	10
3	Egenskaper hos råvara till CLT-lameller	15
3.1	Egenskaper hos sidobräder	15
3.2	Plan för undersökning av råvara till CLT-lameller	16
3.3	Urval av sidobräder och centrumutbyte	16
3.4	Mätning av egenskaper hos utvalt virke	18
3.5	Bedömning av konstruktiv prestanda hos utvalda sidobräder	19
3.5.1	Hållfasthetssortering av dragbelastade lameller	19
3.5.2	Elasticitetsmodul vid dragbelastning	19
3.5.3	Densitet	21
3.5.4	Hållfasthet vid dragbelastning	22
3.5.5	Rullskjuvning i sidobräder	25
3.6	Limning och pressning av CLT-provkroppar	26
4	Val av lim	29
5	Marknad – kunder och förväntningar	31
6	CLT-tillverkares konstruktionskompetens	33
6.1	Utgångspunkt: CLT-projekt i Växjö och Alvesta	33



6.2	Projekteringsprocessen _____	33
6.3	Förväntningar på CLT-leverantören _____	34
6.4	Tekniska frågeställningar _____	35
6.5	Dimensioneringshjälpmedel _____	36
7	Produktion på byggplats _____	38
7.1	Produktion av CLT _____	38
7.2	Montage av CLT på byggplats _____	39
7.3	Vädskydd på byggplats _____	40
8	Produktionsprocess och investering i CLT-anläggning _____	42
8.1	Kapacitet CLT-produktion _____	42
8.2	Investeringskostnad CLT-anläggning _____	43
9	Ekonomiska förutsättningar _____	44
9.1	Kostnadskalkyl CLT-produktion _____	44
9.2	Känslighetsanalys CLT-produktion _____	45
9.3	Sammanfattning ekonomiska förutsättningar _____	45
10	Slutsatser _____	46

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Produkter av s.k. korslimmat virke, *cross laminated timber (CLT)*, utgörs av skivor som konstrueras och dimensioneras för att kunna bära last såväl i som vinkelrätt skivans plan. Skivorna består oftast av ett ojämnt antal lager av lameller där lamellerna i intilliggande lager orienteras vinkelrätt i förhållande till varandra.

Utvecklingen av byggsystem baserade på CLT-skivor startade i Österrike i början av 1990-talet som ett svar på sågverksindustrins behov av nya avsättningsområden för sidobräder (Brandner *et al.* 2016), dvs. de konsekvensprodukter som sågas från de yttre delarna av en stock. Eftersom sidobräder ofta ger dålig lönsamhet syftade utvecklingsinsatserna inledningsvis till att åstadkomma ett högre värdeutbyte för sådana bräder genom att använda dem som lameller i CLT-skivor. Utvecklingen har därefter inneburit att även centrumutbyte används som CLT-lameller, se Figur 1.



a)

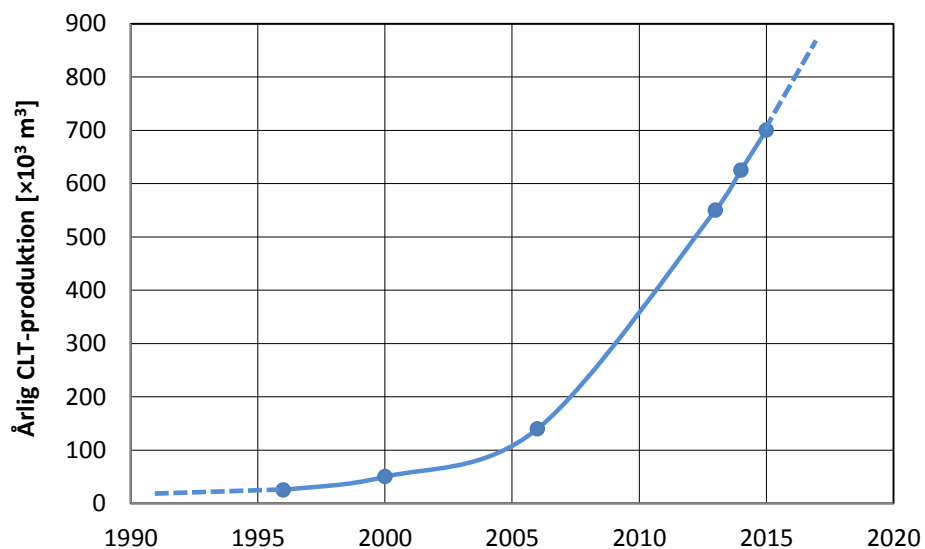


b)

Figur 1. CLT-skivor bestående av tre skikt sidobräder och två skikt centrumutbyte: a) sidobräder i ytskikt och mitskikt, b) sidobräder i de tre inre skikten.

Acceptansen för att använda byggsystem baserade på CLT ökar snabbt bland såväl byggherrar som arkitekter och byggföretag. På vetenskapliga konferenser inom träbyggnadsområdet riktas idag stor uppmärksamhet mot forskning och utveckling av CLT-produkter och byggande med CLT. Forskningen handlar bl.a. om att vid tillverkning av CLT kunna utnyttja lokala träslag av varierande kvalitet (t.ex. Sigrist och Lehmann 2014; Okabe *et al.* 2014; Zhou *et al.* 2014). En annan utvecklingstrend är att användningen av CLT successivt tycks lyfta gränsen för hur höga trähus som kan byggas. Just nu pågår t.ex. uppförande av 10-våningars bostadshus helt byggda med CLT i stadsdelen Hackney i London (White 2016).

Byggproduktion baserad på skivprodukter av korslimmat virke har under de senaste tio åren haft en stark utveckling i Europa och på flera andra marknader över hela världen. År 2014 uppgick den globala produktionen till 625 000 m³ (Brandner *et al.* 2016) och i år beräknas den producerade volymen överstiga 700 000 m³, se Figur 2. Denna utveckling beror på flera faktorer. En underliggande drivkraft för allt byggande med trä är miljöaspekter och hållbar utveckling. Eftersom trä till skillnad från de flesta andra byggmaterial är förnybart kan miljöargumentet användas vid marknadsföring av trä som byggmaterial. En annan förklaring till den växande marknaden är att bostadsbristen i flera av Europas länder håller på att utvecklas till ett problem som på allvar hämmar den ekonomiska tillväxten eftersom avsaknad av bostäder bl.a. leder till minskad rörlighet på arbetsmarknaden. I flera länder pågår därför diskussioner om politiska stimulansåtgärder. Förtätning av befintlig stadsbebyggelse är ett vanligt sätt att bygga nya bostäder. För att optimera utnyttjandet av den oftast dyra marken i storstäder som t.ex. London krävs högre byggnader med flera våningar. I sådana sammanhang har CLT visat sig vara ett konkurrenskraftigt alternativ (Hargreaves 2015), inte minst på grund av att kraven på transport- och krankapacitet minskar om byggnaderna uppförs i det lätta materialet trä. En annan viktig förklaring till att CLT tagit marknadsandelar är att byggtekniken visat sig vara konkurrenskraftig inte bara vid bostadsbyggande utan även vid uppförande av sport- och lagerhallar, kontor, skolor och förskolor.



Figur 2. Global CLT-produktion t.o.m. 2014, med prognos för 2015 (Brandner *et al.* 2016).

På den europeiska kontinenten finns idag många etablerade aktörer som tillverkar och bygger med CLT. Cirka 90 % av den totala produktionen i Centraleuropa finns i Österrike, Tyskland och Schweiz. Österrike är idag ledande med en årsproduktion som uppgår till ca 400 000 m³. De största österrikiska företagen inom området är Binderholz Bausysteme, KLH Massivholz och Mayr-Melnhof Kaufmann (Stauder 2013). Även Stora Enso Timber har betydande CLT-produktion vid två anläggningar i Österrike. Under senare tid har nya CLT-fabriker öppnats i Tjeckien, Lettland och Finland och sedan tidigare finns även tillverkning hos företaget Martinsons Såg AB (Martinsons) i Bygdsiljum utanför Skellefteå.

Om man studerar en karta över centrala och norra Europa kan man konstatera att det finns CLT-tillverkning på ett stort antal platser på kontinenten samt produktionsenheter i Baltikum, Finland och norra Sverige, se Figur 3. Frånsett Martinsons tillverkning utanför Skellefteå finns dock ingen betydande tillverkning av CLT på den Skandinaviska halvön. Det bör dessutom noteras att byggherrar och entreprenörer i södra Sverige idag importerar CLT. Det gäller t.ex. företag som GBJ Bygg AB och AB Fristad Bygg. Mot bakgrund av den positiva utvecklingen för CLT-produkter kan det finnas affärsmässigt utrymme för att etablera en CLT-tillverkning baserad på den småländska skogsråvaran. Lönsamhet i en sådan produktion skulle kunna uppnås genom att i första hand utnyttja lågvärdiga produkter som sidobräder, såväl med som utan vankant, och centrumutbyte med låg kvalitet som t.ex. hållfasthets sorterat virke klassat i hållfasthetsklass C14 eller C16. En sådan produktion skulle lämpligen kunna lokaliseras till något mindre småländskt samhälle med befintliga industrilokaler lämpliga för ändamålet.



Figur 3. Lokalisering av industriella anläggningar för produktion av CLT i Europa.

1.2 Syfte

Syftet med den aktuella förstudien är att undersöka de tekniska och ekonomiska förutsättningarna för att kunna utnyttja virke av låg kvalitet för CLT-produktion i södra Sverige. En viktig del i projektet är därför att undersöka vilka tekniska krav som måste uppfyllas för att virke med låg kvalitet, som t.ex. sidbräder med vankant, skall kunna accepteras som råvara för CLT-tillverkning. Projektet handlar också om att dokumentera vilka tekniska provningar och andra undersökningar som måste genomföras för att smäländska CLT-produkter skall kunna CE-märkas för användning på den europeiska marknaden. Dessutom skall de ekonomiska förutsättningarna för den föreslagna CLT-produktionen utvärderas. Studien skall omfatta

- gällande standarder och certifieringskrav för CE-märkning av CLT,
- egenskaper hos råvara till lameller för CLT-produktion,
- val av lim,
- marknad – kunder och förväntningar,
- marknadens krav på CLT-tillverkares konstruktionskompetens och tekniska support,
- produktion på byggplats,
- produktionsprocess och investering i en CLT-anläggning, och
- ekonomiska förutsättningar.

1.3 Mål

Målet är att det tekniska och ekonomiska underlag som tas fram inom ramen för förstudien skall kunna ligga till grund för ett beslut om dels etablering av CLT-produktion i södra Sverige, dels initiering av det utvecklings- och certifieringsarbete som krävs för att de CLT-produkter som skall produceras i en framtida produktionsanläggning skall kunna CE-märkas och släppas ut på marknaden.

1.4 Projektdeltagare

Projektet har genomförts i samverkan mellan sågverksföretaget Vida AB (Johan Blixt) och Linnéuniversitetets institution för byggteknik (Jan Oscarsson, Anders Olsson och Bertil Enquist). Även byggföretaget GBJ Bygg AB (Staffan Dahlström) och bostadsutvecklings- och projekteringsföretaget Projektbyggaren AB (Håkan Svensson) har bidragit med erfarenheter från projektering och uppförande av tre CLT-projekt. Dessutom har det norska trälimföretaget Dynea (Ronny Bredesen) bidragit genom att dels, limma CLT-provkroppar av sidbräder och centrumutbyte som levererats från Vidas sågverk i Vislanda, dels tillhandahålla information om limtyper som kan vara aktuella att använda vid limning av CLT-produkter.

2 Standarder och certifieringskrav för CLT

2.1 Eurocode 5 – dimensioneringsregler för träkonstruktioner

Konstruktion och dimensionering av bärverk i trä görs idag enligt de krav och regler som anges i den europeiska standarden EN 1995-1-1 (CEN 2004). Standarden, som oftast benämns *Eurocode 5*, ingår i en serie omfattande tio Eurocode-standarder som tillsammans utgör de konstruktionsregler som skall användas för byggkonstruktioner i Europa. Dessa standarder är s.k. harmoniserade standarder vilket innebär att de utarbetats av den Europeiska Standardiseringskommissionen (CEN), på uppdrag av EU-kommissionen, med målsättningen att de skall bidra till etableringen av en inre europeisk byggmarknad där såväl byggprodukter som tekniska tjänster skall kunna cirkulera fritt.

I *Eurocode 5* beskrivs principer och krav rörande säkerhet, brukbarhet och beständighet hos träkonstruktioner. Den nuvarande utgåvan av standarden omfattar inte CLT, men för närvarande pågår en översyn av standarden och en ny version som kommer att omfatta CLT beräknas bli klar under 2017.

2.2 CE-märkning av byggprodukter

2.2.1 Obligatorisk eller frivillig CE-märkning

CE-märkning av byggprodukter regleras i EU:s byggproduktförordning (EU 2011) som blev fullt tillämplig den 1 juli 2013. Förordningen gäller inom EU samt i Norge, Schweiz och Turkiet (Boverket 2012). Enligt förordningen kan CE-märkning ske på två olika sätt. Det första avser produkter som omfattas av en harmoniserad produktstandard som publicerats i den Europeiska Unionens Officiella Tidning (*Official Journal*). För produkter som omfattas av en sådan standard är CE-märkning obligatorisk. Detta gäller för t.ex. limträ, som regleras i standarden EN 14080 (CEN 2013), och maskinellt hållfasthets sorterat konstruktionsvirke som bl.a. omfattas av standarderna EN 14081-1 (CEN 2016a) och EN 14081-2 (CEN 2010a).

Det andra sättet som CE-märkning kan ske på är frivillig och kan t.ex. användas för produkter som ännu inte omfattas av någon harmoniserad standard. Tillverkare av sådana produkter kan begära en s.k. europeisk teknisk bedömning (*European Technical Assessment, ETA*) hos en organisation som utsetts att utföra sådana bedömningar inom det aktuella produktområdet. Förfarandet kan till delar liknas vid de som används vid hantering av nationella typgodkännanden av byggprodukter.

En europeisk teknisk bedömning skall baseras på en fastställd teknisk specifikation. Om en sådan saknas måste ett europeiskt tekniskt bedömningsdokument (*European Assessment Document, EAD*) tas fram för den aktuella produkten. Detta arbete görs av det bedömningsorgan som mottagit tillverkarens begäran. Arbetet sker dock i samråd med alla de europeiska bedömningsorganisationer som utsetts inom det aktuella produktområdet. Giltigheten för ett bedömningsdokument är, liksom för harmoniserade standarder, beroende av att dokumentet publicerats i *Official Journal*.

När bedömningsdokumentet tagits fram, vilket kan ta avsevärd tid i anspråk, gör det bedömningsorgan som svarat för dokumentets framtagande en europeisk teknisk bedömning av produkten och utfärdar ett intyg om detta. Därefter skall tillverkaren utfärda en prestandadeklaration för produkten och sedan själv CE-märka densamma. Även om det är frivilligt att begära en europeisk teknisk bedömning av en produkt som inte omfattas av en harmoniserad standard bör det noteras att CE-märkning blir obligatorisk så snart en ETA utfärdats för den aktuella produkten.

Vid CE-märkning ställs krav på verifiering av produktens prestanda, dvs. en verifiering av att produkten uppfyller de tekniska krav som anges i aktuell standard eller aktuell EAD. Tillverkaren är också skyldig att ordna ett tillförlitligt egenkontrollsystem för att säkerställa att produkten vid en serietillverkning hela tiden motsvarar den prestanda som deklarerats. Systemet för egenkontroll skall i allmänhet bedömas och kontrolleras. Såväl produktverifiering som bedömning och kontroll av system för egenkontroll görs normalt av s.k. tredjepartsorgan, dvs. provnings-, kontroll- och certifieringsorgan som t.ex. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP).

2.2.2 CE-märkning av CLT

För CLT-produkter finns för närvarande såväl ett europeiskt tekniskt bedömningsdokument (EAD) som en harmoniserad standard. Bedömningsdokumentet (EOTA 2015) publicerades i *Official Journal* i juni 2015 och kan således utgöra grund för CE-märkning.

För den harmoniserade standarden, som har beteckningen EN 16351 (CEN 2015), gäller att den godkändes av CEN i augusti 2015, men den har dock ännu inte publicerats i *Official Journal*, vilket innebär att den formellt ännu inte kan ligga till grund för CE-märkning av CLT-produkter. En publicering kan dock förväntas inom kort (Brännström 2016) och när detta har skett blir CE-märkning av CLT obligatorisk på den inre marknaden.

På marknaden finns redan idag över 30 CLT-tillverkare som har rätt att CE-märka sina produkter (Brandner 2013; EOTA 2016). Det bör dock noteras att dessa produkter bedömts enligt ett tidigare certifieringssystem som tillämpades inom EU fram till den tidpunkt då EU:s byggproduktförordning trädde i kraft. Akronymen *ETA* användes även i detta tidigare system och utfärdades av bedömningsorganisationer för produkter som bedömdes vara möjliga CE-märka. Den sista versalen betecknade dock begreppet *Approval*. Bland de företag som har CE-märkningsrättigheter enligt det tidigare systemet finns det svenska företaget Martinsons Såg AB i Bygdsiljum.

2.2.3 Harmoniserad CLT-standard

Den harmoniserade CLT-standardens omfattar bl.a. krav avseende lameller, lim, limfogar, fingerskarvar, träslag, utformning av och mekaniska egenskaper hos CLT-skivor, brandsäkerhet, provning och tillverkningskontroll.

Krav på lameller

När det gäller krav på enskilda lameller anges att virkesstycken, dvs. plank och bräder, som används som lameller skall vara hållfasthetssorterade enligt EN 14081-1

(CEN 2016a). Det innebär att lamellerna kan vara klassade som konstruktionsvirke enligt C-klasser definierade i EN 338 (CEN 2016b), som limträlameller enligt T-klasser definierade i limträstandarden EN14080 (CEN 2013) eller som limträlameller enligt LS-, LD- eller L-klasser definierade i den numera upphävda standarden EN 14081-4 (CEN 2009).

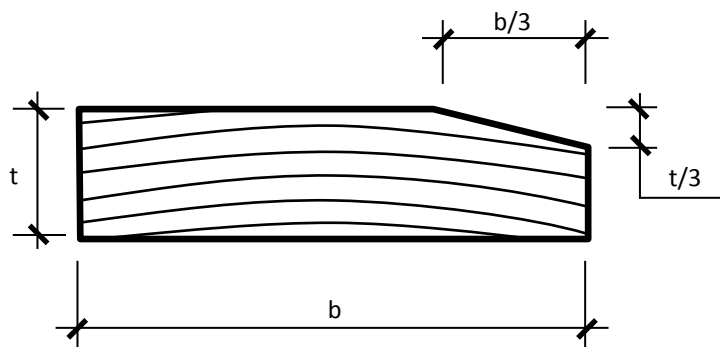
Kravet att CLT-lameller skall vara hållfasthetssorterade enligt EN 14081-1 innebär bl.a. att förekomsten av vankant regleras av de visuella krav på efterkontroll som gäller vid maskinell hållfasthetssortering och som anges i Tabell 1 i EN 14081-1. Enligt denna tabell får vankanter inte vara större än en tredjedel av ett virkesstyckes tjocklek eller bredd. I den inter-nordiska standarden för visuell hållfasthetssortering, INSTA 142 (2010), uttrycks detta krav enligt följande:

”I varje tvärsnitt skall minst 2/3 av kantsidan och minst 2/3 av flatsidan vara bearbetad” (INSTA 142, Tabell 2).

Kravet innebär således att om vankanten vid ett hörn av ett tvärsnitt uppgår till en tredjedel av en kant- eller flatsida får ingen ytterligare vankant förekomma vid kant- eller flatsidans motsatta hörn. Kravet visualiseras i Figur 4.

Beträffande lamellernas dimension bör noteras att lamelltjocklek ner till 6 mm accepteras och att den maximala lamelltjockleken anges till 45 mm. För CLT-skivor med tre lamellskikt tillåts dock en lamelltjocklek på 60 mm i det mittersta lagret (se avsnitt 5.2.2.3 i EN 16351).

I CLT-standarden finns inget krav avseende lamellernas fuktkvot vid tillverkning av CLT-skivor, men i de ETA som utfärdats enligt det certifieringssystem som gällde fram till dess att EU:s byggproduktförordning trädde i kraft gäller i allmänhet att lamellernas konditioneras till målfuktkvoten 12 % (Brandner *et al.* 2016).



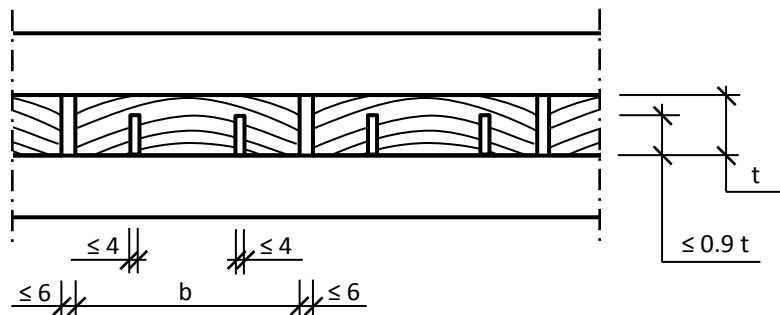
Figur 4. Maximalt tillåten vankant i tvärsnitt av virkesstycke som hållfasthetssorteras enligt EN 14081-1 (CEN 2016a).

Utformning av CLT-skivor

Enligt standarden skall CLT-produkter bestå av minst tre lager av lameller där lamellerna i varje lager är orienterade vinkelrätt mot lamellerna i intilliggande lager. Lamellerna inom ett enskilt lager kan utföras med eller utan kantlimning. Om kantlimning inte används kan ett fritt avstånd av maximalt 6 mm mellan lamellernas kantsidor accepteras, se Figur 5. Skivor som utförs med kantlimning blir känsliga för

fuktrelaterade krymprärelser, eftersom sprickor då kan uppstå i lamellerna. Om lamellerna utförs utan kantlimning kommer krympningen istället att medföra att det fria avståndet mellan lamellerna ökar.

Vid tillverkning av CLT-skivor utsätts lamellerna för presstryck i storleksordningen 0.6–0.8 MPa vinkelrätt skivans plan (Schickhofer 2013; Begemann 2016). Eftersom längsgående sprickor riskerar att uppstå i kupade lameller i samband med pressning kan lamellerna förses med spår som är 4 mm breda och som har ett maximalt djup motsvarande 90 % av lamelltjockleken, se Figur 5.



Figur 5. Maximalt tillåtna kantavstånd mellan och spår i CLT-lameller.

Mekaniska egenskaper hos CLT-skivor

För CLT-produkter som tillverkas enligt EN 16351 skall, enligt avsnitt 5.2.3 i standarden, egenskaper avseende

- elasticitetsmodul,
- böjhållfasthet,
- tryckhållfasthet,
- draghållfasthet, och
- skjuvhållfasthet

bestämmas/verifieras antingen

- genom beräkning av relevanta egenskaper, eller
- genom typprovning.

I nämnda standardavsnitt anges dessutom att verifieringen kan baseras på en kombination av beräkning och provningar. Omfattningen av sådana provningar redovisas i avsnitt 6.2 i standarden.

Limtyper

Följande limtyper kan enligt standarden användas vid CLT-tillverkning:

- fenol- och aminoplastlim, t.ex. av typerna melamin-formaldehyd (MF), melamin-urea-formaldehyd (MUF), fenol-resorcinol-formaldehyd (PRF) och urea-formaldehyd (UF),

- Fukthärdande enkomponents polyuretanlim (PUR), och
- isocyanatemulsionspolymerlim (EPI).

Limfogar

I CLT-element kan limfogar förekomma

- i fingerskarvar i enskilda lameller,
- mellan flatsidor på lameller i olika lager,
- mellan kantsidor på lameller i samma lager, och
- i stora fingerskarvar som sammanfogar hela CLT-element.

Erforderlig typprovning av limfogar redovisas i avsnitt 6.2 i standarden.

Träslag

En rad olika träslag kan enligt standarden användas för tillverkning av CLT-produkter. De träslag som skulle kunna vara aktuella i Sverige är i första hand gran (*Picea abies*) och tall (*Pinus sylvestris*). Andra träslag som anges är bl.a. europeisk och sibirisk lärk (*Larix decidua* resp. *Larix sibirica*) och Sitka-gran (*Picea sitchensis*).

Brandsäkerhet

Med brandsäkerhet hos byggprodukter avses såväl brandmotstånd (*resistance to fire*) som produkterna brandtekniska egenskaper (*reaction to fire*). Brandmotståndet hos CLT-skivor baseras enligt EN 16351 (CEN 2015), avsnitt 5.2.6, på en deklaration av

- CLT-skivans dimensioner och utformning (*layup*), och
- förkolningshastighet för aktuellt träslag.

I standardens avsnitt 5.2.6 anges också att brandmotståndet för en CLT-skiva kan baseras på objektspecifika brandtekniska dimensioneringar.

Den s.k. förkolningshastigheten är en viktig parameter för brandmotstånd hos träkonstruktioner. När trä brinner bildas ett ytskikt av kol som minskar värmeöverföring och skyddar det relativt opåverkade trämaterial som finns innanför kolskiktet. Förkolningshastigheten kan variera mellan 0.5 och 2 mm/minut, beroende på bl.a. träets densitet, fuktkvot och fiberriktning samt på den värmepåverkan som en brand ger upphov till (Östman (ed.) 2012).

Enligt Brandner *et al.* (2016) antas förkolningshastigheten för CLT-skivor variera beroende på kantavstånd mellan lameller i samma lager. För skivor med kantlimmade lameller och för skivor med kantavstånd mindre än 2 mm antas en förkolningshastighet på 0.65 mm/minut för skivor av gran. För större kantavstånd, 2–6 mm, antas hastigheten öka till 0.80 mm/minut. Det bör dock noteras att i det dokument som ligger till grund för t.ex. Martinsons Såg AB:s rättigheter att CE-märka CLT-produkter (EOTA 2013) anges en förkolningshastighet på 0.65 mm/minut, trots att kantavstånd större än 2 mm kan förekomma i elementen.

När det gäller deklaration av CLT-produkters brandtekniska egenskaper används det s.k. Euroclass-systemet som definieras i den europeiska standarden EN 13501-1 (CEN 2007). Systemet baseras på ett antal europeiska standarder för provningsmetoder som används för att fastställa brandklasser för brännbara byggprodukter (Östman (ed.) 2012).

Tillverkningskontroll

En tillverkare av CLT skall upprätta, dokumentera och upprätthålla ett system för tillverkningskontroll (*Factory Production Control, FPC*) för att säkerställa att produkter som fortlöpande tillverkas och placeras på marknaden överensstämmer med de egenskaper som anges i produktdeklarationer och europeiska tekniska bedömningsdokument (EAD). Tillverkningskontrollen skall bl.a. omfatta fortlöpande provning av

- fingerskarvar i lameller (2 fingerskarvar per skift och produktionslinje),
- limfog mellan lamellager (2 prov per skift),
- limfog vid kantlimning av lameller (2 prov per skift),
- stora fingerskarvar (1 fingerskarv per skift)

Kraven på fortlöpande provning innebär att en CLT-tillverkare antingen måste investera i såväl provningsutrustning som provningskompetens eller anlita ett ackrediterat provningslaboratorium för utförande av de fortlöpande provningar som krävs enligt CLT-standarderna.

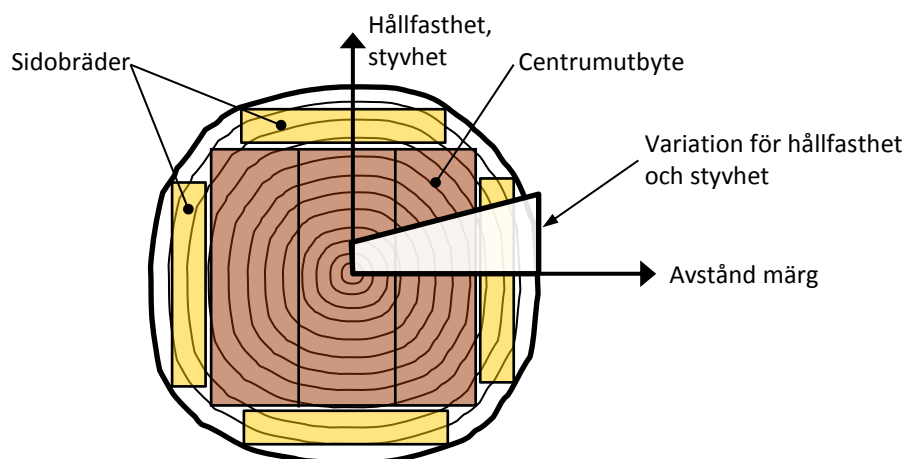
3 Egenskaper hos råvara till CLT-lameller

3.1 Egenskaper hos sidobräder

En viktig del i detta projekt har varit att undersöka i vilken utsträckning som sydsvenskt virke av låg kvalitet och med lågt värde skulle kunna användas som lameller vid tillverkning av CLT. En produktgrupp som i detta sammanhang varit särskilt intressant att undersöka är sidobräder med vankant.

Hos sågverksindustrin finns ett stort intresse av att utveckla nya avsättningsområden för bräder som sågas från de yttre delarna av en granstock. Eftersom denna typ av produkter har förhållandevis små tvärsnittdimensioner används de mycket sällan i lastbärande tillämpningar. De huvudsakliga avsättningsområdena är istället lågvärdiga produkter som formvirke, lastpallar och emballage. Det innebär att sidobräder ofta ger dålig lönsamhet vilket är av stor betydelse för den totala ekonomin hos enskilda sågverksföretag, eftersom sidobräder utgör ca 30 % av den totala volym som faller vid sönderdelningen på ett sågverk.

Sidobräder är av flera skäl intressanta att använda i lastbärande tillämpningar. En viktig förutsättning är att de konstruktiva egenskaperna hos trämaterialiet i en stock förbättras med avståndet i radiell riktning från mörken. Kvistfria provkroppar som sågats från ved närmast bark i äldre träd av gran eller tall har ofta ungefär dubbelt så hög elasticitetsmodul ("styvhet") och hållfasthet ("styrka") i fiberriktningen som motsvarande provkroppar som sågats från ved i de inre delarna av stocken, se Figur 6. Densiteten ökar också i en stocks radiella riktning, dock inte i samma utsträckning som styvhet och styrka. Även trädets spiralväxt uppvisar oftast en ur konstruktiv synpunkt positiv förändring från mörk till bark. För gran uppstår i allmänhet den största fibervinkeln vid den fjärde årsringen (Säll 2002). Spiralväxten innebär att fibrernas lutning i förhållande till trädets längdriktning då uppgår till mellan 3 och 4 grader. Därefter minskar fibrernas lutning i princip linjärt i trädets radiella riktning. En fibervinkel på 0 grader nås i medeltal vid årsring nr 70.



Figur 6. Elasticitetsmodul (styvhet) och hållfasthet (styrka) i fiberriktningen i en granstock: variation i stockens radiella riktning.

3.2 Plan för undersökning av råvara till CLT-lameller

För att undersöka möjligheterna att använda sidobräder av låg kvalitet för tillverkning av CLT valdes sidobräder och centrumutbyte från Vida-koncernens sågverk i Vislanda ut för provning av lameller och sammanlimning av desamma till provkroppar av korslimmat virke. Syftet med urvalet var att i största möjliga utsträckning basera provning och provkroppstillverkning på virke som sågats från timmer representativt för den typ av råvara som sågas vid Vida-koncernens sågverk i Kronobergs län. Urvalet gjordes så att mängden vankant i de utvalda bräderna skulle bli så stor som möjligt. Samtidigt var målsättningen att de begränsningar som enligt standarden EN 14081-1 (CEN 2016a) gäller för förekomst av vankant i hållfasthetssorterat konstruktionsvirke, se Figur 4, inte skulle överskridas när sidobräderna hyvlat och limmats som lameller i CLT-provkroppar.

Efter urval av sidobräder och centrumutbyte transporterades virket till Linnéuniversitetet och undersöktes med avseende på axiell dynamisk elasticitetsmodul. Därefter kapades virkesstyckena till korta längder (600 mm) som sedan skickades till det norska trälimföretaget Dyneas laboratorium i Lilleström, Norge, för tillverkning av CLT-provkroppar.

Efter att Dynea hyvlat levererade virkesstycken och därefter tillverkat provkroppar i företagets laboratorie-limpress skickades provkropparna till Linnéuniversitetet för bedömning av om de krav som anges i EN 14081-1 (CEN 2016a) avseende begränsning av vankant i hållfasthetssorterat konstruktionsvirke kunde anses vara uppfyllda.

3.3 Urval av sidobräder och centrumutbyte

Urval av sidobräder gjordes vid Vidas sågverk i Vislanda i den 25 februari 2016. Ur ett paket bestående av 644 utseendesorterade sidobräder av VI-sort eller bättre och med nominell sågad dimension 22×75×3300 mm, se Figur 7, plockades 156 bräder med betydande vankanter ut och levererades till Linnéuniversitetets laboratorium i Växjö. En uppfattning om förekomst och storlek på vankanter i de utvalda bräderna framgår av Figur 8.



Figur 7. Utseendesorterade sidbräder av VI-sort eller bättre; för urval av sidbräder med vankant.



Figur 8. Förekomst av vankant i utvalda lameller.

Utöver de 156 sidbräderna valdes även 12 plankor av utseendesorterat centrumutbyte av VI-sort ut för leverans till Linnéuniversitetet. Plankornas

dimension var 45×145×4800 mm. Avsikten var att även plankorna skulle användas som lameller i några av de provkroppar som skulle tillverkas av Dynea.

3.4 Mätning av egenskaper hos utvalt virke

För samtliga brädor och plank som levererats till Linnéuniversitetet mättes dimensioner, vikt och axiell resonansfrekvens. Fuktkvot mättes för 26 av sidbrädorna. Mätningen av den axiella resonansfrekvensen innebär att axiella vibrationer exciteras i ett virkesstyckes längdriktning genom ett hammarslag i den ena kortändan och den grundton, med tillhörande övertoner, som uppstår i virkesstycket till följd av hammarslaget fångas med en mikrofon, se Figur 9. De uppmätta tonerna kan sedan omräknas till axiella resonansfrekvenser för olika axiella vibrationsmoder. Resonansfrekvensen för den första vibrationsmoden används för att beräkna virkesstyckets axiella dynamiska elasticitetsmodul enligt uttrycket

$$E_{a,dyn} = 4\rho(f_{a,1}L)^2 \quad (1)$$

där ρ är virkesstyckets densitet, $f_{a,1}$ är den beräknade resonansfrekvensen och L är virkesstyckets längd. Tekniken att bestämma axiell dynamisk elasticitetsmodul med hjälp av dynamisk excitering är sedan 1990-talet vanligt förekommande vid kommersiell hållfasthetsortering på sågverk. I sorteringsmaskiner som t.ex. Dynagrade, Precigrader, Rosgrade och Viscan används denna typ av elasticitetsmodul för prediktering av hållfasthet.



Figur 9. Excitering av axiella vibrationer i ett virkesstycke med hammarslag, samt insamling av virkesstyckets grundton och övertoner med mikrofon.

För att kunna jämföra egenskaper hos virke som ingår i stickprov (*sample*) uttagna under olika förutsättningar är det angeläget att jämförelserna baseras på förutsättningar som är likvärdiga för de olika stickproven. Eftersom både elasticitetsmodul och densitet för virke är beroende av virkets fuktkvot skall uppmätta värden för dessa båda konstruktiva egenskaper justeras till referensfuktkvoten 12 %. Detta görs enligt standarden EN 384 (CEN 2010b); enligt avsnitt 5.3.4.2 skall elasticitetsmodulen ökas med 1 % för varje procent som fuktkvoten överstiger 12 % och enligt avsnitt 8 skall densiteten minska med en halv procent för varje procent som fuktkvoten överstiger 12 %.

Medelfuktkvoten för de utvalda sidobrädorna bestämdes till 16.3 % genom att mäta fuktkvoten för 26 av brädorna med en insticksmätare (resistansfuktkvotmätare) och sedan beräkna medelvärdet för dessa 26 brädor. För de 12 plankorna av centrumutbyte gjordes dock ingen fuktkvotmätning för enskilda plankor. Fuktkvoten antogs istället överensstämma med målfuktkvoten 18 % som användes vid torkningen av plankorna.

Mätresultat som justerats till referensfuktkvoten 12 % redovisas i Tabell 1. Relationen mellan egenskaper för sidobräder och centrumutbyte stämmer väl med vad som kan förväntas; såväl elasticitetsmodul som densitet för sidobrädorna är större än motsvarande värden för centrumutbytet.

Tabell 1. Medelvärden för dimensioner, fuktkvot, densitet och axiell dynamisk elasticitetsmodul för utvalda virkesstycken, där densitet och elasticitetsmodul justerats till referensfuktkvoten 12 %.

Virke	Antal	Tjocklek t [mm]	Bredd b [mm]	Längd l [mm]	Fuktkvot [%]	Densitet [kg/m ³]	Dynamisk MoE [MPa]
Sidobrädor	156	24	77	3304	16.2	507	14580
Centrumutbyte	12	45	145	4823	≈ 18	471	11320

3.5 Bedömning av konstruktiv prestanda hos utvalda sidobräder

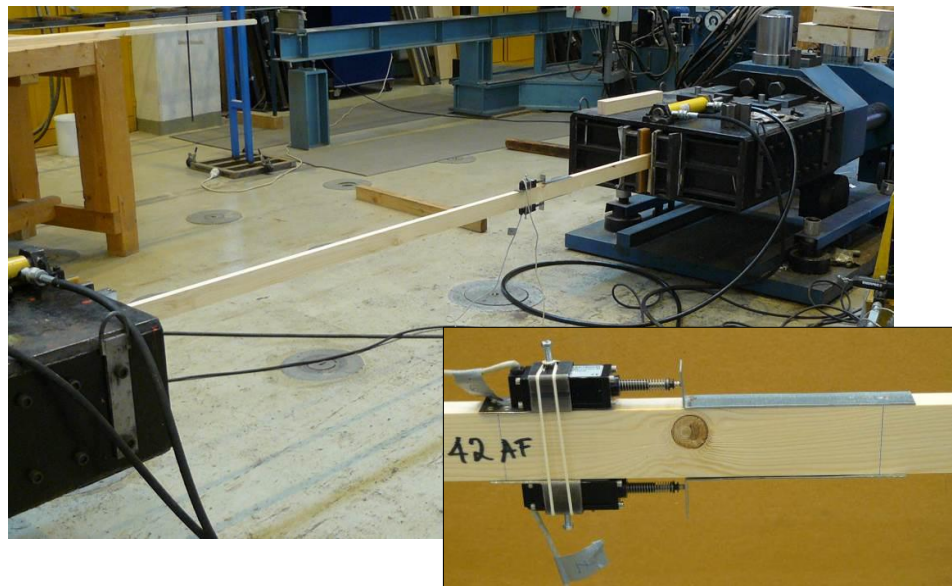
3.5.1 Hållfasthetsortering av dragbelastade lameller

För virke som hållfasthetsklassas i t.ex. en C-klass enligt EN 338, en T-klass enligt EN 14080, eller en LS-, LD- eller L-klass enligt EN14081-4 anges krav på bl.a. medelvärde för lokal statisk elasticitetsmodul parallellt fiberriktningen, 5%-fraktil för virkets densitet, samt 5%-fraktil för virkets hållfasthet vid dragbelastning. I avsnitt 3.5.2–3.5.5 nedan görs med utgångspunkt från nämnda egenskaper en uppskattning av den konstruktiva prestandan för de 156 sidobrädor som ingått i denna undersökning.

3.5.2 Elasticitetsmodul vid dragbelastning

När det gäller elasticitetsmodulens medelvärde är det viktigt att notera att värdet på de medelvärden som krävs för respektive hållfasthetsklass avser en elasticitetsmodul

som bestämts genom statisk provning enligt EN 408 (CEN 2010c). Denna provning utförs som ett dragprov där den elasticitetsmodul som mäts på ett enskilt virkesstycke avser det värde som erhålls lokalt vid det snitt som bedöms som svagast inom den mätbara delen av virkesstycket, se EN 384 (CEN 2010b), avsnitt 5.2. Ett exempel på statisk dragprovning av en sidobräda visas i Figur 10.



Figur 10. Dragprovning av sidobräda enligt EN 408. Infälld bild: Extensiometrar för mätning av deformationer som används för beräkning av lokal statisk elasticitetsmodul.

En lokalt statisk elasticitetsmodul som bestämts vid ett virkesstyckes svagaste snitt blir med nödvändighet lägre än motsvarande värde som erhålls vid axiell dynamisk excitering. Detta beror i första hand på att det dynamiska värdet återger en genomsnittlig elasticitetsmodul för ett helt virkesstycke, vilket innebär att även de styva delarna av virkesstycket påverkar den axiellt dynamiskt bestämda elasticitetsmodulen. Skillnaden mellan axiellt dynamisk resp. statiskt bestämd elasticitetsmodul för sidobräder kan bedömas genom två tidigare undersökningar som genomförts vid Linnéuniversitetet. Den första undersökningen handlade om våtlimning och omfattade 116 brädor med dimension 25×57 mm (Oscarsson *et al.* 2011) och den andra, som inriktades på fingerskarvning, inkluderade 51 fingerskarvade och 51 icke-fingerskarvade brädor med dimension 21×57 mm (Oscarsson *et al.* 2014). I Tabell 2 redovisas dels medelvärden som i dessa båda undersökningar bestämts för statisk och dynamisk elasticitetsmodul för icke-fingerskarvade brädor, dels medelvärde för dynamisk elasticitetsmodul för de 156 sidobräder som använts i det aktuella CLT-projektet.

Tabell 2. Medelvärden för dynamisk resp. statisk elasticitetsmodul enligt två tidigare undersökningar av sidobrädor samt medelvärde för dynamisk elasticitetsmodul för de sidobrädor som undersökts i det aktuella CLT-projektet.

Undersökning	Antal brädor	Dimension brädor [mm]	MoE _{dyn} [MPa]	MoE _{stat} [MPa]	Anmärkning
"Våtlimning" (2011)	116	25 × 57	13040	9590	Stora kvistar
"Fingerskarvning" (2014)	51	21 × 56	14240	13674	Mindre kvistar
CLT (2016)	156	24 × 77	14580	?	Mindre kvistar

Förhållandet mellan dynamisk och statisk elasticitetsmodul skiljer sig åt betydligt mellan de båda äldre undersökningarna. För "våtlimningsundersökningen" från 2011 är förhållandet MoE_{dyn}/MoE_{stat} ungefär lika med 1.36, medan motsvarande värde för "fingerskarvningsundersökningen" från 2014 är 1.04. Det bör noteras att dessa båda undersökningar är utförda på extremt smala brädor. Det innebär att stora kvistar kan uppta större delen av ett draget tvärsnitt, se Figur 12–13, vilket leder till en kraftig reduktion av lokalt uppmätt statisk elasticitetsmodul. Detta förklarar den stora skillnaden mellan dynamisk och statisk elasticitetsmodul i undersökningen från 2011. De sidobrädor som använts i den aktuella CLT-undersökningen har en större dimension ($b=77$ mm enligt Tabell 1–2) än de brädor som användes i de båda tidigare undersökningarna. Det borde rimligen innebära att kvistarnas påverkan på lokal statisk elasticitetsmodulen i CLT-brädorna borde vara mindre än motsvarande påverkan i de brädor som användes i "våtlimningsundersökningen" från 2011.

Förhållandet mellan dynamisk och statisk elasticitetsmodul har också undersökts av bl.a. Larsson *et al.* (1998). För ett stickprov bestående av över 500 granplankor med tjocklek 38 mm och bredd varierande mellan 89–184 mm bestämdes styvheten dels axiellt dynamiskt, dels vid statisk böjning på högkant. Förhållandet mellan medelvärdena för dessa båda styvheter blev $MoE_{dyn}/MoE_{stat}=1.13$.

Mot bakgrund av de förhållanden mellan dynamisk och statisk styvhet som redovisats ovan, tillsammans med det faktum att brädorna som undersökts i den aktuella CLT-undersökningen har en större dimension än de brädor som ingått i undersökningarna från 2011 och 2014, borde förhållandet MoE_{dyn}/MoE_{stat} för de 156 brädor som ingått i CLT-undersökningen rimligen inte överstiga 1.20. Det skulle i så fall innebära att medelvärdet för den statiska elasticitetsmodulen för dessa brädor skulle kunna uppskattas till $MoE_{stat} = MoE_{dyn}/1.20 = 14580/1.20 = 12150$ MPa. Enligt EN 338 motsvarar detta hållfasthetsklass C30 för konstruktionsvirke.

3.5.3 Densitet

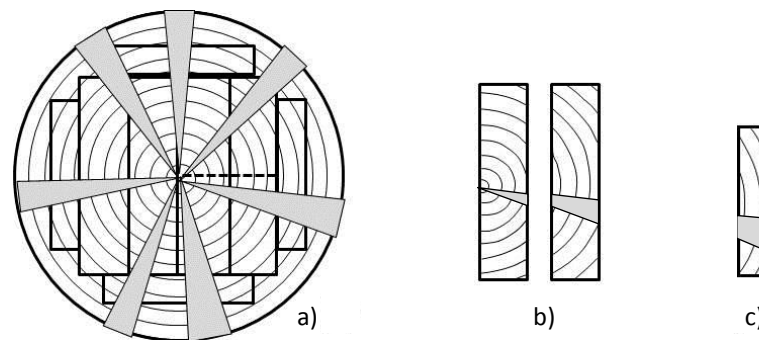
Vid bestämning av en karakteristisk densitet motsvarande 5% -fraktilen används s.k. rankning. Enligt EN 384 (CEN 2010b), avsnitt 5.3.1, innebär detta att densitetsvärden som bestämts för varje virkesstycke i ett stickprov rankas i stigande ordning. Den karakteristiska densitetet är lika med det provningsvärde för vilket 5 % av de rankade provningsvärdena är lägre. Om antalet testvärden inte är delbart med

20 kan den karakteristiska densiteten bestämmas genom linjär interpolation mellan två intilliggande värden.

Eftersom denna undersökning omfattar 156 sidobräder kan densitetens 5%-fraktil bestämmas genom linjär interpolation mellan densiteten för de bräder som densitetsrankats som nr 7 och nr 8 från slutet. Dessa bräder hade densiteten 410.2 resp. 428.3 kg/m³ före justering till referensfuktkvot 12 %. Genom interpolering och fuktkvotsjustering kunde den karakteristiska densiteten bestämmas till 415 kg/m³, vilket motsvarar hållfasthetsklass C35 för konstruktionsvirke.

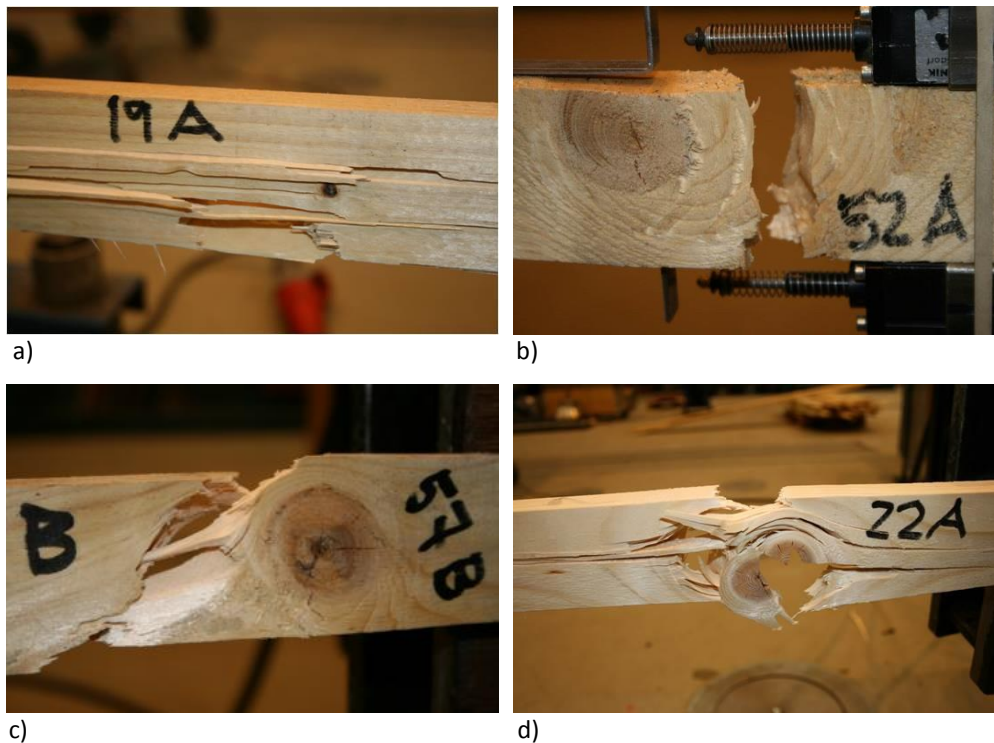
3.5.4 Hållfasthet vid dragbelastning

I avsnitt 3.1 ovan anges att hållfastheten i kvistfritt virke sågat från de yttre delarna av en stock i allmänhet har väsentligt högre hållfasthet än motsvarande virke sågat från stockens inre delar och att sidobräder därför kan vara mycket intressanta att använda i lastbärande tillämpningar. Den position som sidobräder har i en stock innebär dock att kvistarna i denna typ av bräder är större än de som förekommer i centrumutbyte. Detta framgår av det sågmönster som illustreras i Figur 11.



Figur 11. a) Sågmönster och kvistar i en stock resulterande i årsringmönster och kviststorlekar i b) centrumutbyte och c) sidobräder.

Stora kvistar i mycket smala sidobräder, som t.ex. de bräder som ingick i våtlimnings- resp. fingerskarvningsundersökningarna från 2011 resp. 2014 (se Tabell 2 samt Figur 12–13), kan innebära att en enskild kvist kan uppta en betydande del av en brädas tvärsnitt och att detta i sin tur medför en kraftig reduktion av hållfastheten. Eftersom sidobräder med små kvistar samtidigt kan förväntas ha en hög hållfasthet uppvisar hållfasthet hos sidobräder en stor spridning. I Figur 12 visas brottbilder på några av de bräder som ingick i våtlimningsundersökningen från 2011. Hållfastheten för den starkaste resp. svagaste brädan i denna undersökning var 72.1 MPa (Figur 12a) resp. 2.6 MPa (Figur 12b).



Figur 12. Brott i brädor från våtlimningsundersökning genomförd 2011 (Oscarsson *et al.* 2011). Hållfasthet i brädorna: a) 72.1 MPa (undersökningens starkaste bräda), b) 2.6 MPa (undersökningens svagaste bräda), c) 5.8 MPa, och d) 11.7 MPa.

Vanliga hållfasthetsklasser vid tillverkning av CLT-produkter är C24 i lamellskikt där lamellerna är orienterade i skivornas lastbärande riktning, medan virkesstycken i klass C16 eller C18 vanligen används i lameller i skivornas tvärriktning (Brandner *et al.* 2016). Även andra klasskombinationer förekommer; i Martinsons Såg AB:s ETA-dokument (EOTA 2013) anges att virke i hållfasthetsklass LS15, vilket i princip motsvarar klass C24, skall användas i lameller i lastbärande riktning, medan hållfasthetsklass C14 skall användas i tvärgående lameller.

De 156 brädor som sorterades fram i Vislanda i januari har inte hållfasthetsprovats. För att få en uppfattning om vilka hållfasthetsklasser som kan sorteras fram från sidobräder sågade från råvara hämtad från södra delarna av Småland har en bedömning av provningsresultaten från de ovan nämnda undersökningarna från 2011 (våtlimning) resp. 2014 (fingerskarvning) gjorts. Virket i dessa undersökningar hämtades från Kronobergs resp. Kalmar län. Från undersökningarna kunde provningsresultat från totalt 141 hållfasthetsprovade brädor utvärderas.

För att kunna bedöma utbytet i olika hållfasthetsklasser har hållfastheten i de 141 brädorna justerats till bredden 150 mm enligt EN 384, avsnitt 5.3.4.3. och därefter rankats. Utbytet i två olika tänkta sorteringskombinationer har sedan beräknats. Resultaten redovisas i Tabellerna 3–4. I Tabell 3 visas resultatet av en sorteringskombination med klasserna C30+C16+Rejects och i Tabell 4 visas motsvarande resultat för kombinationen C30+C14+Rejects.

Tabell 3. Sidobräder provade i undersökningar om våtlimning (Oscarsson et al. 2011) och fingerskarvning (Oscarsson et al. 2014); utbyte vid kombinerad hållfasthetssortering i hållfasthetsklasserna C30+C16+Rejects.

Hållfasthets- klass	Draghållfasthet, $f_{t,k}$ [MPa]	Antal brädor		Utbyte [%]
		Våtlimn.projekt	Fingersk.projekt	
C30	18	49	20	49
C16	10	32	17	35
Rejects	< 10	15	8	16

Tabell 4. Sidobräder provade i undersökningar om våtlimning (Oscarsson et al. 2011) och fingerskarvning (Oscarsson et al. 2014); utbyte vid kombinerad hållfasthetssortering i hållfasthetsklasserna C30+C14+Rejects.

Hållfasthets- klass	Draghållfasthet, $f_{t,k}$ [MPa]	Antal brädor		Utbyte [%]
		Våtlimn.projekt	Fingersk.projekt	
C30	18	49	20	49
C14	8	36	21	40
Rejects	< 8	11	4	11

Resultaten i Tabell 3–4 indikerar att det bör vara möjligt att basera en CLT-tillverkning på sidobräder sorterade i hållfasthetsklasserna C30 och C16. Det bör dock noteras att redovisade utbyten baseras på faktiska hållfasthetsvärden erhållna vid brottprovning. Detta förfaringsätt kan naturligtvis inte tillämpas vid hållfasthetssortering då hållfastheten istället predikteras med utgångspunkt från indikerande egenskaper oftast uttryckta som mått på elasticitetsmodulen. Detta innebär att de utbyten som skulle ha erhållits vid en hållfasthetssortering av de brädor som ingick i de undersökningar som ligger till grund för Tabell 3–4 sannolikt skulle ha blivit något lägre än de värden som redovisas i tabellerna ovan.

Samtidigt bör noteras att redovisade utbyten baseras på ett begränsat antal brädor av extremt smala dimensioner. Det innebär att hållfastheten för de aktuella brädorna sannolikt skulle ha ökat om brädornas bredd varit större, eftersom kvistarnas andel av respektive sidobrädans tvärsnitt då skulle ha minskat, se Figur 11c. Ökade hållfastheter hos brädorna skulle samtidigt ha medfört ett ökat utbyte.

Mot bakgrund av ovanstående resonemang kan konstateras att ytterligare undersökning behövs för att säkrare utlåtanden om utbytet skall kunna göras. En sådan undersökning bör baseras på bräder med något större dimensioner och där virket insamlats på ett antal olika sågverk spridda över ett tänkt upptagningsområde för en framtida CLT-tillverkning.

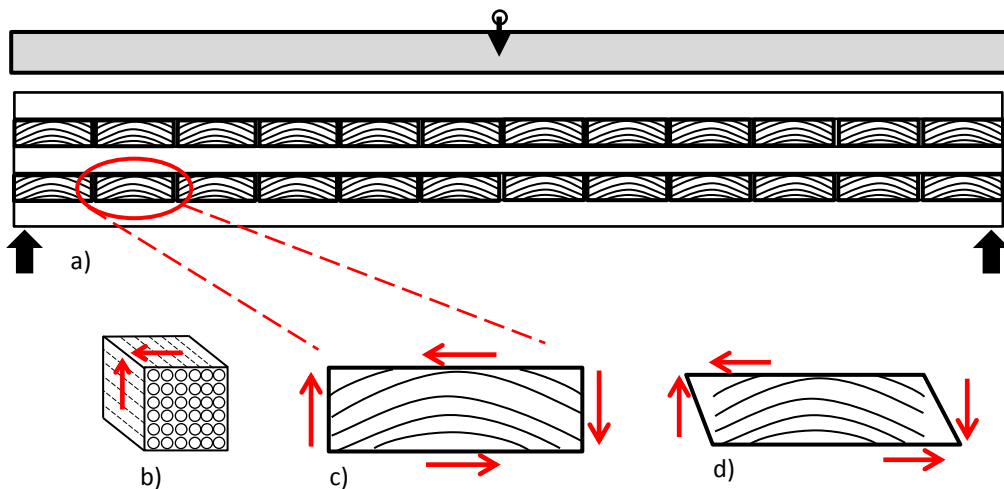
I detta sammanhang bör dock uppmärksammas att de redovisade utbytessiffrorna kan förbättras genom defekteliminering, se Figur 13. Med fingerskarvning kan hållfastheten i smala sidobräder höjas väsentligt (Oscarsson et al. 2014).



Figur 13. Defekteliminering i sidbräder genom fingerskarvning.

3.5.5 Rullskjuvning i sidbräder

Vid dimensionering av CLT-skivor avsedda för användning i bjälklag är det ovanligt att hållfastheten i brottstadiet är dimensionerande. Istället är deformationer, svikt och vibrationer som uppstår vid normal användning, dvs. i bruksstadiet, oftast avgörande för en bjälklagsskivas utformning och tjocklek. För deformationer i bjälklag, dvs. skivor som är belastade vinkelrätt skivans plan (se Figur 14), är därvid den s.k. rullskjuvningen av stor betydelse. Denna verkar i en brädas tvärriktning, dvs. vinkelrätt fiberriktningen, och kan liknas vid att intilliggande fibrer ”rullar” i förhållande till varandra, se Figur 14b.



Figur 14. a) Bjälklagsskiva av CLT belastad vinkelrätt skivans plan, b) princip för ”rullskjuvning”, c) ”rullskjuvningsbelastad” tvärgående lamell, och d) deformationer i lamell p.g.a. rullskjuvning.

Skjuvstyvheten i virke beskrivs med den s.k. skjuvmodulen, G . Denna varierar kraftigt beroende på i vilket plan, i förhållande till årsringsmönstret, som skjuvkrafter angriper. Skjuvstyvheten i det radiella-tangentiella planet (rt-planet), dvs. vid rullskjuvning, är väsentligt mindre än skjuvstyvheten i det longitudinella-tangentiella resp. det longitudinella-radiella planet (lt- resp. lr-planet). För felfritt trä är G_{lt} och G_{lr} ca 25 gånger större än G_{rt} (Dinwoodie 2000). För konstruktionsvirke, där defekter som t.ex. kvistar beaktas, är skillnaderna mindre, men fortfarande betydande.

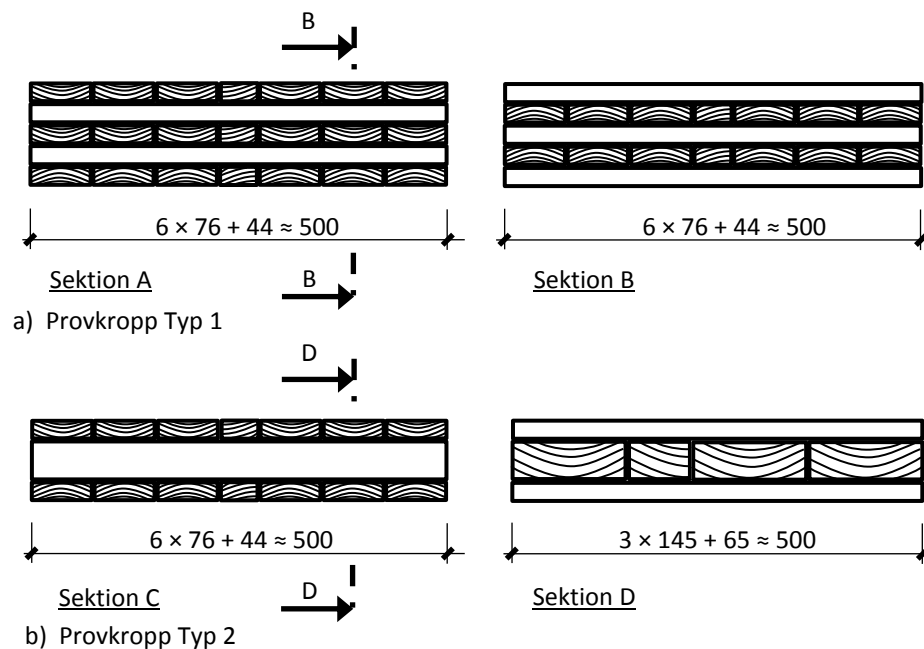
Undersökningar av bl.a. Aicher och Dill-Langer (2000) och Ehrhart *et al.* (2015) har visat att skjuvmodulen vid rullskjuvning, G_{rt} , är beroende av bl.a. virkets densitet och årsringsmönster i tvärsnitt hos sågade virkestycken. Stor krökning hos årsringarna i ett tvärsnitt medför att värdet på G_{rt} ökar jämfört med om årsringarna har en liten krökning. Enligt Aicher och Dill-Langer (2000) kan detta innebära att ”rullskjuvmodulen” för centrumutbyte med stor årsringskrökning, se Figur 11b, kan vara mer än dubbelt så stor som motsvarande modul för sidobränder med liten årsringskrökning, se Figur 11c.

I vissa tidigare undersökningar, t.ex. Görlacher (2002), har en svagt positiv korrelation mellan densitet och rullskjuvmodul kunnat observeras. Detta skulle i någon mån motverka effekten av årsringarnas krökning, eftersom densiteten ökar med avståndet från märg. Samtidigt finns andra undersökningar, t.ex. Ehrhart *et al.* 2015, där sambandet mellan densitet och rullskjuvmodul inte kunnat påvisas.

Med hänsyn till sambandet mellan rullskjuvmodul och årsringskrökning tycks det vara olämpligt att använda sidobränder som tvärgående lameller i bjälklagskivor av CLT eller i andra CLT-skivor som i huvudsak belastas vinkelrätt skivornas plan.

3.6 Limning och pressning av CLT-provkroppar

Efter genomförande av de mätningar som beskrivits i avsnitt 3.4 kapades utvalda delar av såväl bränder som plank upp i kortare längder (600 mm) avsedda för limning och pressning av två olika typer av CLT-provkroppar, se Figur 15.



Figur 15. Provkroppar; a) Typ 1: Fem lager sidobränder hyvlade till $t \sim 20$ mm. b) Typ 2: Två lager sidobränder hyvlade till $t \sim 20$ mm och ett lager centrumutbyte hyvlade till $t \sim 43$ mm.

Vid uppkapningen valdes och sorterades de kapade bitarna med utgångspunkt ifrån att respektive provkroppstyp skulle tillverkas i två olika utföranden; i det ena utförandet skulle mängd och storlek på sidobrädernas vankanter maximeras och i det andra utförandet skulle inga vankanter förekomma.

Efter sågning och sortering paketerades de uppkapade bitarna, se Figur 16, för att därefter transporteras till Dyneas laboratorium i Lilleström, Norge.



Figur 16. Paketering av sågade lameller för leverans till Dyneas laboratorium i Lilleström, Norge, för limning och pressning av CLT-provkroppar.

Efter ankomst till Dynea hyvlades lamellerna till de tjocklekar som anges i Figur 15, varefter de kapades till längden 500 mm. Vid limning och pressning, se Figur 17, användes

- lim av typen MUF,
- limmängd 250–300 g/m², samt
- presstryck 0.6 MPa.

Skälet till att lim av typen MUF användes beskrivs i avsnitt 4.



Figur 17. a) Provkroppar förberedda för pressning, och b) provkroppar placerade i laboratorielimpress (Foto Dynea AS).

Efter limning och pressning skickades provkropparna tillbaka till Linnéuniversitetet. I Figur 18 visas en av de provkroppar som tillverkades av sidbräder med maximal storlek på vankanter. Trots att samtliga lameller som ingick i denna provkropp hade valts så att vankanternas storlek skulle bli så stora som möjligt kan konstateras att efter hyvling återstod vankanter som uppfyllde de krav som gäller för hållfasthetssorterat konstruktionsvirke, se Figur 4. Ett likvärdigt resultat erhöles även för motsvarande provkropp av Typ 2.



Figur 18. Provkropp av Typ 1, tillverkad av lameller som valts ut för att uppnå maximal mängd och storlek på vankanter.

Slutsatsen från provkroppstillverkningen är att det finns goda möjligheter att använda sidbräder med vankant för tillverkning av CLT.

4 Val av lim

Av de tre typer av lim som enligt CLT-standarden EN16351 (CEN 2015) kan användas för CLT-produktion har enkomponents polyuretanlim (PUR) hittills varit dominerande på marknaden (Wang *et al.* 2011; Begemann 2016; Skretteberg 2016) trots ett högt inköpspris. Skälet till att de flesta CLT-producenter valt denna limtyp har i första hand varit korta härdnings- och presstider vilket medfört korta cykel-tider vid produktion och därmed hög produktivitet vid tillverkning av CLT.

Användning av lim av typen EPI skulle innebära att cykel-tiderna skulle kunna kortas ytterligare, samtidigt som inköpspriset skulle bli lägre. Trots detta är användningen av EPI vid CLT-tillverkning begränsad vilket i första hand beror på att limpåföringen blir mera krävande (Begemann 2016).

För fenol- och aminoplastlimmer som t.ex. MUF har tidigare den mycket långa härdningstiden, som trots värmestillsättning kunde uppgå till flera timmar, varit en nackdel som medfört att PUR-limmer framstått som ett mera tilltalande alternativ. Det har dock skett en snabb utveckling av MUF-limmer under senare år, vilket har medfört att härdnings- och pressningstider har kunnat reduceras kraftigt. Eftersom MUF-limmer dessutom är väsentligt billigare än både PUR- och EPI-limmer, kan MUF-limmer idag anses vara ett konkurrenskraftigt alternativ vid CLT-tillverkning. Som exempel kan nämnas att i Martinsons Såg AB i första hand använder MUF-lim vid tillverkning av CLT (EOTA 2013).

I Tabell 5 redovisas nyckeltal för de tre nämnda limtyperna. Uppgifterna baseras på underlag som tillhandhållits av Dynea (Bredesen och Viljugrein 2016).

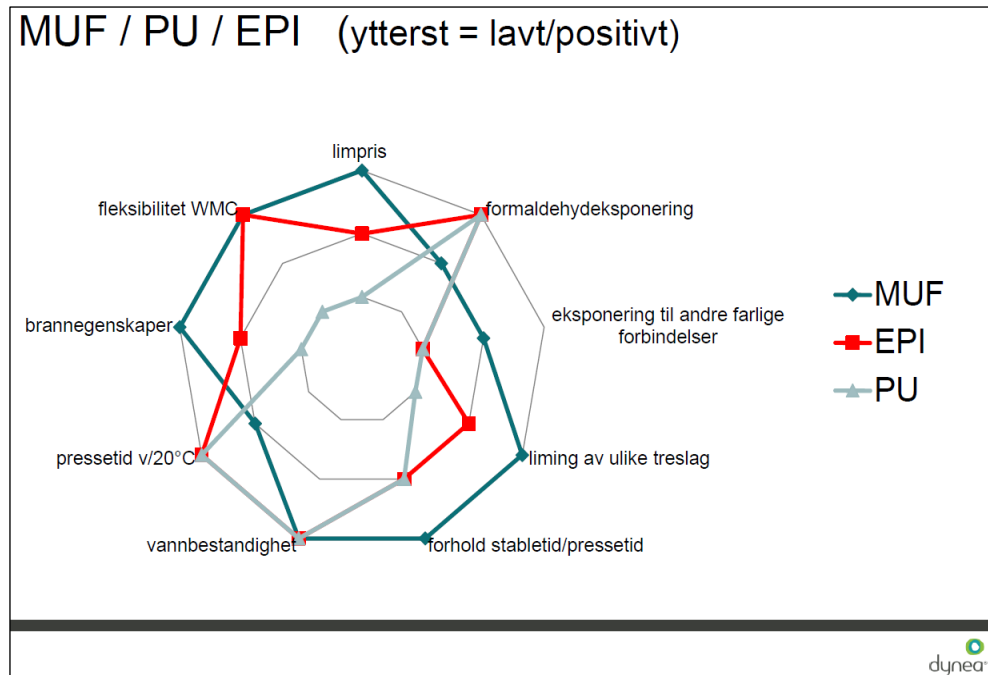
Tabell 5. Nyckeltal för limtyper användbara vid CLT-tillverkning (Bredesen och Viljugrein 2016).

Limtyp	Limpris [NOK/kg]	Limåtgång [g/m ²]	Presstid [minuter]	Förhållande monterings- ² –presstid
PUR	40	170	25–30	1:3
EPI	27	190–200	15–30	1:2.5
MUF	18	230–240	60 ¹	1:2

1. Presstiden kan reduceras genom tillsättning av värme, t.ex. genom förvärmning av lameller.
2. Begreppet *monteringstid* (eng. *assembly time*, norska *stablingstid*) avser tiden mellan limpåföring och etablering av presstryck.

Skillnader i egenskaper mellan PUR-, EPI- och MUF-limmer åskådliggörs i Figur 19 (Bredesen och Viljugrein 2016). Brandegenskaperna bör därvid särskilt uppmärksammas. I ett antal rapporter från brandprovningar redovisas resultat som tyder på att CLT-produkter limmade med PUR har sämre brandegenskaper än motsvarande produkter limmade med MUF (t.ex. Hox 2015; Frangi *et al.* 2009). Testerna indikerar att brand kan medföra att delaminering uppstår i PUR-fogar. Detta leder till ett brandförlopp där lameller lossnar och faller ner från CLT-skivor. Därigenom friläggs nya lamell-lager som utgör nytt bränsle för branden. Av detta följer att förkolningshastigheten ökar till 1.30 mm/minut, vilket är en fördubbling

jämfört med den hastighet som enligt Brandner (2016) vanligtvis kan antas för CLT-produkter.



Figur 19. Egenskaper hos lim av typerna PUR, EPI och MUF (Bredesen och Vilujgrein 2016).

Mot bakgrund av ovanstående underlag bör MUF-lim i första hand övervägas för användning i en framtida CLT-produktion i södra Sverige.

5 Marknad – kunder och förväntningar

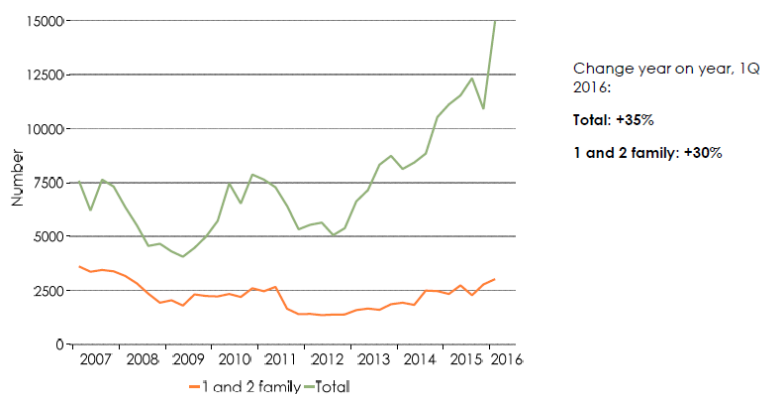
Marknadsutvecklingen för CLT har varit stabil de senaste 10 åren. Det har varit svårt att hitta sammanställd data för försäljning och konsumtion av CLT, men om man tittar på tillverkning av CLT så har marknaden en årlig tillväxt med 15–20 % i Europa som är den största regionen för CLT-tillverkning och då även användning av CLT. Österrike är dominerande land för tillverkning av CLT (63 %).

CLT-konsumtionen förväntas öka i samma takt som tidigare och kapaciteter hos befintliga CLT-tillverkare byggs ut. Under 2016 kommer t.ex. Martinsons och Binderholz att bygga ut sina kapaciteter.

Marknaden år 2020 bedöms ligga runt 1 miljon m³ i Europa. Det finns dock lite olika uppgifter om detta när man letar i tillgänglig produktionsstatistik. Detta kan jämföras med en total virkeskonsumtion i Europa på ca 100 miljoner m³. Produktionen ligger på ca 140 miljoner m³. (källa: Skogsindustrierna). Alltså mindre än 1 % av den sågade volymen bedöms gå till CLT-produktion.

Drivkrafterna för CLT i husbyggnation är framförallt miljöargumenten. Byggnad med trä är klimatsmart och många kommuner i Sverige har idag en träbyggnadsstrategi (Växjö, Skellefteå, Falun m.fl.). Med ökad förtätning i samhället och därmed större andel högre hus krävs andra lösningar med träkonstruktion än för en- och tvåplanshus (se Figur 20). Där kan CLT vara ett alternativ. CLT kan komplettera modulhusbyggnad, som tagit fart i Sverige, med sin flexibilitet. CLT kan användas för sporthallar, lagerlokaler, kontorsbyggnader, skolor, m.m.

Sweden.
Housing Starts, quarterly. Seasonally adjusted.



Figur 20. Utvecklingen av total bostadsutveckling och småhustillverkning.

Det finns byggbolag i södra Sverige som idag köper CLT från Österrike men som efterfrågar en mer lokal producent för att därigenom få både en bättre kontakt och bättre logistik.

Vid intervjuer av köpare av CLT (byggföretag) framkom att förväntningarna på en CLT-leverantör är att tillverkaren även kan tillhandahålla tekniskt stöd i själva konstruktionen av husprojektet.

Skulle en CLT-tillverkare kunna svara upp mot de byggarna förväntar sig av leverantör så ser de bara positivt på detta. Med fler byggare som använder CLT så kommer efterfrågan att öka.

6 CLT-tillverkares konstruktionskompetens

6.1 Utgångspunkt: CLT-projekt i Växjö och Alvesta

Företagen GBJ Bygg AB (GBJ), Växjö, och Projektbyggaren Teknik Syd AB (Projektbyggaren), Karlskrona, har som entreprenör resp. konstruktör under senare tid gemensamt genomfört tre olika byggprojekt där CLT använts som stommaterial. De aktuella projekten är

- LSS-boende, AllboHus Fastighets AB, Alvesta,
- Brf. Strandsnäckan, Växjö, och
- Brf. Vallaviken, Växjö.

I samtliga fall har CLT-stommarna konstruerats, producerats och levererats av företaget Binderholz Bausysteme, Österrike.

I detta avsnitt (avsnitt 6) och i avsnitt 7 redovisas GBJ:s och Projektbyggarens erfarenheter från de tre genomförda projekten. Företagens synpunkter har inhämtats dels via samtal med GBJ:s vd Staffan Dahlström och Projektbyggarens konstruktör Håkan Svensson som varit ansvarig konstruktör i samtliga tre projekt, dels via ett studiebesök på arbetsplatsen för Brf. Strandsnäckan den 28 april 2016 då Staffan Dahlström förevisade arbetsplatsen, olika konstruktionslösningar och pågående montage av CLT-element.

6.2 Projekteringsprocessen

Som exempel på hur projektering av en CLT-stomme kan genomföras beskrev Håkan Svensson hur stommen till Brf. Strandsnäckan tagits fram. Projekteringen av stommen och ansvarsfördelningen mellan Projektbyggaren, som varit huvudkonstruktör för hela byggprojektet, och Binderholz, som varit konstruktör och tillverkare av CLT-stommen, kan beskrivas med följande övergripande projekteringssteg:

1. Utgångspunkt: offertunderlag.
2. Laster togs fram av Projektbyggaren.
3. Överslagsmässig dimensionering av CLT-element ingående i den lastbärande stommen genomfördes i dialog mellan Projektbyggaren och Binderholz.
4. Preliminära konstruktionsritningar för CLT-stommen togs fram av Projektbyggaren.
5. Laster och preliminära konstruktionsritningar skickades till Binderholz.
6. Detaljdimensionering av CLT-stommen utfördes av Binderholz, vilket innebar att slutliga konstruktionsberäkningar och -ritningar för CLT-

stommen upprättades. I detta arbete ingick bl.a. stomkompletteringar i stål, se Figur 21.



Figur 21. Brf. Strandsnäcken, Växjö: Stomkompletteringar i stål dimensionerade av CLT-leverantören Binderholz.

Det beskrivna projekteringsarbetet har inneburit att Projektbyggaren inte utfört några detaljerade dimensioneringsberäkningar avseende CLT-stommen. Ansvar för detaljprojekteringen av stommen har istället vilat på CLT-leverantören. Detta är enligt Håkan Svensson det gängse sättet att upphandla CLT-leveranser.

Projektbyggaren har som underlag för Binderholzs dimensionering av stommen levererat ett lastschema bestående av förutsättningar, laster och lastkombinationer för vilka i projektet ingående byggnader skulle dimensioneras. Kommunikationen beträffande laster har enligt Håkan Svensson underlättats väsentligt av att Eurokoder nu används generellt, vilket innebär att Projektbyggaren och Binderholz talar ”samma språk”. Därigenom minskar risken för missförstånd.

6.3 Förväntningar på CLT-leverantören

De förväntningar som övriga aktörer i byggprocessen har på en CLT-leverantör innebär att den senare måste

- ha full teknisk kännedom om sin produkt,
- vara med redan i offertstadiet,
- kunna erbjuda ett komplett byggsystem med systemlösningar,

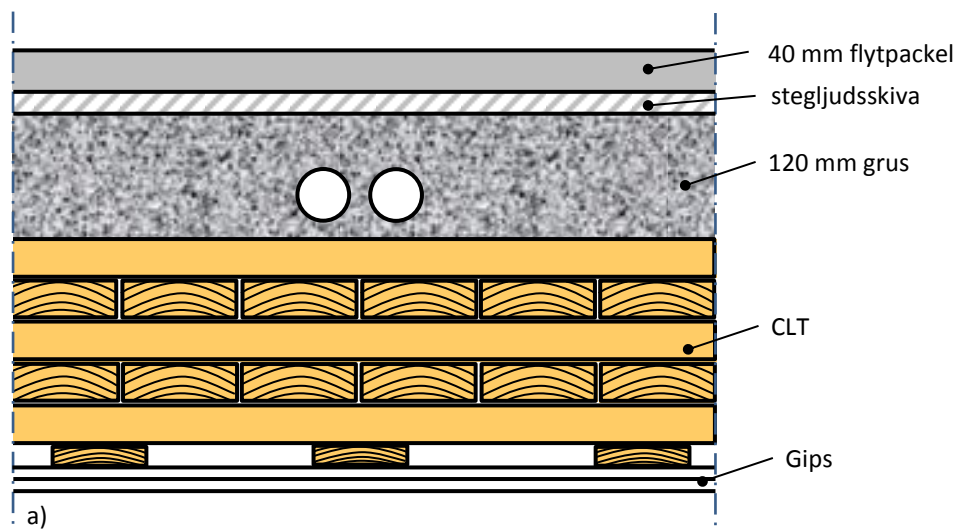
- ha kompetens att dimensionera även andra material än trä,
- kunna ge teknisk support i dimensioneringsarbetet i såväl offert- som genomförandestadiet, samt
- svara för detaljdimensioneringen av CLT-stommen. Exempel på konstruktionsdetaljer som ingår i Brf. Strandsnäckan och som dimensionerats av Binderholz visas i Figur 22.



Figur 22. Stomdelar och detaljer i Brf. Strandsnäckan konstruerade och dimensionerade av Binderholz: a) skjuvvägg för överföring av horisontalkrafter till grund, b) anslutning av CLT-stomme till grund, och c) spikförband mellan våningar i trapphus.

6.4 Tekniska frågeställningar

Under projekteringen av de tre projekt som nämns i avsnitt 6.1 har diskussionerna mellan Projektbyggaren och Binderholz endast i begränsad utsträckning handlat om statik och stabilitet. Istället har tekniska krav avseende brand och ljud krävt betydligt mera kommunikation. Detta gäller i synnerhet ljudfrågorna. Den lösning som på förslag av Binderholz använts i projekten visas i Figur 23a–c. Ovanpå CLT-bjälklaget sprids ett lager grus ($t=120$ mm) där gruset antingen kan blåsas upp till varje bjälklag, se Figur 23c, eller paketeras i säckar som sedan lyfts upp och sprids för hand. Över gruslagret, i vilket installationer placeras, läggs en stegljudsskiva och slutligen appliceras 40 mm flytspackel. Att gjuta betong ovanpå CLT-skivan istället för att lägga ut grus diskuterades inledningsvis, men detta alternativ ansågs ge en alltför styv konstruktion för att kraven på stegljudsisolering skulle kunna klaras.

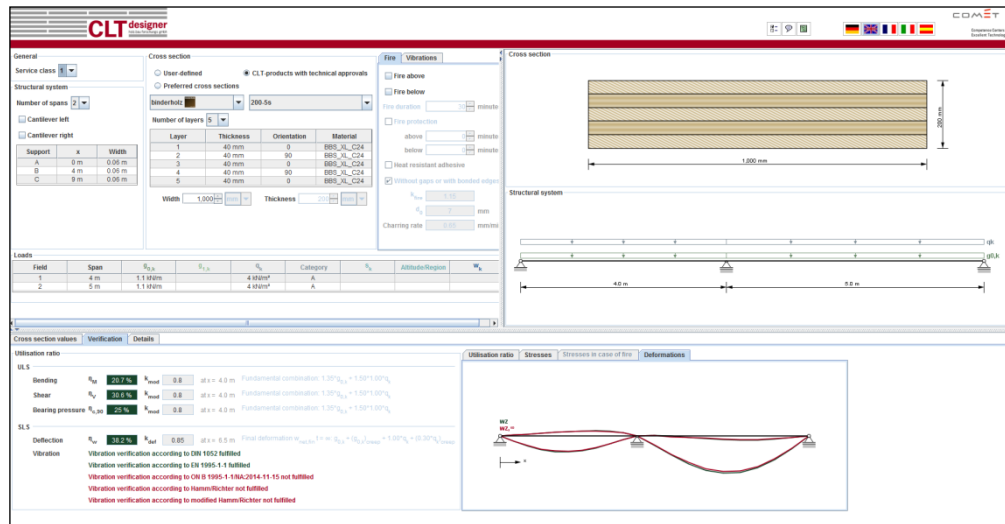


Figur 23. Stegljudisolering på CLT-bjälklag: a) bjälklagsuppbyggnad, b) grusmaterial som sprids ovanpå CLT-bjälklag, och c) spridning av grusmaterial med hjälp av "blåsning".

6.5 Dimensioneringshjälpmedel

I avsnitt 1.1 anges att utvecklingen av byggsystem baserade på CLT-skivor startade i Österrike i början av 1990-talet. Det forsknings- och utvecklingsarbete som ligger till grund för att CLT-byggnad idag är i stark tillväxt i såväl Europa som i många andra delar av världen har till betydande del skett vid Tekniska Universitetet i Graz, Österrike. Där har man bl.a. utvecklat dimensioneringshjälpmedel i form av beräkningsprogram för CLT-skivor. Programvaran kallas *CLT Designer*, se Figur 24, och den är idag fritt tillgänglig via Internet för alla som är intresserade och har behov av att dimensionera CLT-element.

Även flera av de större CLT-leverantörerna på marknaden har företagsspecifika dimensioneringsprogram som i olika utsträckning är kostnadsfritt tillgängliga över nätet.



Figur 24. Gränssnitt för dimensioneringsprogrammet CLT Designer från Tekniska Universitetet i Graz, Österrike.

7 Produktion på byggplats

7.1 Produktion av CLT

CLT-byggsystem som finns på den europeiska marknaden baseras på väggelement som tillverkas i s.k. hel- eller halvformat. Den förstnämnda systemtypen baseras på stora element som vanligen är våningshöga, dvs. ca 3 meter, samtidigt som längden på elementen kan vara större än 20 m. Exempel på element i helformat visas i Figur 25. Även den andra systemtypen utgår i allmänhet från våningshöga element men med elementlängder som begränsas till ca 1.25 m. Ett exempel på montage av halvformatselement vid GBJ:s projekt Brf. Strandsnäckan i Växjö visas i Figur 26.



Figur 25. Helformatselement, Kv. Limnologen, Växjö.



Figur 26. Montage av halvformatselement vid GBJ:s byggprojekt Brf. Strandsnäckan, Växjö.

I Tabell 6 redovisas elementdimensioner som erbjuds av ett antal ledande CLT-leverantörer i Europa. De angivna dimensionerna återfinns i respektive företags Europeiska Tekniska Godkännande, ETA.

Tabell 6. Elementdimensioner som kan levereras i hel- eller halvformat från ledande CLT-leverantörer i Europa (Brandner 2013).

CLT-leverantör	Helformatselement, höjd×bredd [m]	Halvformatslement, höjd×bredd [m]
Binderholz Bausysteme	5×24	5×1.25
KLH Massivholz	3×16.5	–
Mayr-Melnhof Kaufmann	3×18	–
Stora Enso Timber	3×16.5	–

7.2 Montage av CLT på byggplats

Vid det i avsnitt 6.1 nämnda studiebesöket på GBJ:s arbetsplats Brf. Strandsnäcken i Växjö kunde montage av väggelement i halvformat studeras. Produktionsmoment av denna typ är personalintensiva, se Figur 26, och enligt GBJ:s vd Staffan Dahlström är arbetet med att utforma den skarv som uppstår mellan varje halvformatselement både omfattande och tidskrävande. Skarven består av en skarvbräda som passas in i ursparingar som frästs i kortsidan på de element som skall skarvas, se Figur 27a. Efter att element och skarvbräda sammanfogats förstärks skarven genom att skruvar dras genom element och skarvbräda på ömse sidor om skaven, se Figur 27b.



a)



b)

Figur 27. Skarv i väggelement av halvformat, Brf. Strandsnäcken, Växjö: a) elementskarv med monterad skarvbräda, och b) efterarbete vid skarv; skruvdragning genom element och bräda.

En fördel med halvformatselement är att elementens storlek och utformning kan anpassas så att virkesspill i anslutning till håltagningar minimeras, se Figur 28. Vid tillverkning av helformatselement produceras t.ex. ett väggelement som en homogen skiva och därefter sågas hål för dörrar och fönster vilket leder till betydande mängder spill. Vid upphandling av CLT-leveranser innebär detta enligt Staffan Dahlström att kvadratmeterpriset för CLT-element i helformat blir högre än motsvarande pris för halvformatselement. Hans bedömning är ändå att denna kostnadsskillnad mer än väl kompenseras av att montage och efterarbete på byggarbetsplatsen blir väsentligt dyrare för CLT-system som baseras på de mindre elementformaten. Utöver det arbete som måste göras vid varje skarv krävs t.ex. spikplåtsförstärkning av elementskarvar i den typ av skjuvväggar som visas i Figur 22a. Om den visade skjuvväggen istället utformats som en skiva i helformat hade spikplåtsförstärkningarna inte varit nödvändiga.

Mot bakgrund av de erfarenheter som GBJ:s skaffat sig genom de tre CLT-projekt som företaget hittills engagerat sig i skulle företaget vid framtida upphandlingar av CLT-leveranser föredra helformatsalternativet, eftersom produktionen på byggarbetsplatsen därmed skulle bli mera rationell och resultera i en positiv påverkan på projektets totala ekonomi.



Figur 28. Anpassning av väggelement av halvformat vid håltagning för dörr, Brf. Strandsnäcken, Växjö.

7.3 Väderskydd på byggplats

Vikten av att trähus uppförs under torra, dvs. väderskyddade, produktionsförhållanden brukar ofta framhållas. Synen på behovet av väderskydd

har dock varierat mellan exempelvis de olika större trähusprojekt som genomförts i Växjö under de senaste 15 åren. I samband med att Hus M på Linnéuniversitetet uppfördes åren 2001–2002 utsattes limträstommen för stora regnmängder, vilket ledde till att vissa balkar och pelare blev kraftigt uppfuktade. Efter att väggar och tak monterats och värme anslutits skedde en okontrollerad uttorkning av dessa stomelement med betydande sprickbildning som följd.

I samband med uppförandet av de fyra byggkropparna i Kv. Limnologen under åren 2006–2009 valdes istället ett produktionsalternativ där ett väderskyddande tält, inklusive en travers, monterades över byggarbetsplatsen (Serrano (ed.) 2009). Tältet höjdes i takt med att de åtta våningar höga huset monterades. Arbetet med att höja tältet var tidskrävande och utfördes därför ofta på helgdagar för att undvika stillestånd i montageprocessen. Samtidigt upplevde stommontörer och övrig personal på arbetsplatsen det som positivt att kunna arbeta på en torr byggplats. Väderskyddet fungerade uppenbarligen på ett bra sätt, eftersom några fuktproblem i de färdiga bostadshusen inte kommit till allmänhetens kännedom efter projektets färdigställande.

I de tre CLT-projekt som nämns i avsnitt 6.1 har inget väderskydd använts. Enligt Staffan Dahlström kan det handla om att horisontella träytor exponeras under ett par veckor innan nästa horisontella våningsplan monteras. Genom att välja element i helformat kan denna exponeringstid sannolikt kortas ytterligare. Vertikala ytor kan dock vara utsatta för vädrets makter under betydligt längre tid än ett par veckor.

Under uppförandet av de tre nämnda CLT-projekten har fuktförhållandena i CLT-stommen kontrollerats kontinuerligt på respektive arbetsplats. Enligt GBJ har mätningarna inte påvisat några bestående höjningar av elementens fuktkvoter.

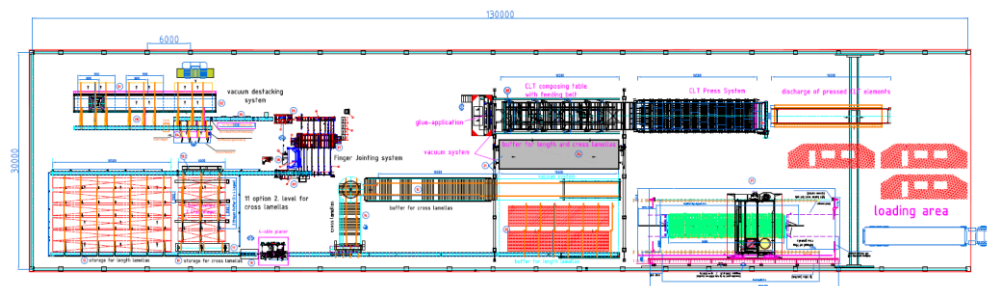
8 Produktionsprocess och investering i CLT-anläggning

I denna förstudie har vi valt att ta kontakt med en tysk maskinleverantör för att bättre förstå produktionsupplägg, kapaciteter, bemanning och investeringsnivå för att börja tillverka CLT.

Vi valde att utreda ett produktionsupplägg av CLT i helformat, dvs. maximalt 16×3 meters format av CLT.

Produktionsprocessen blir då följande:

1. Intag/Avströning
2. Skanning och hållfasthetsortering
3. Optimeringskapning och fingerskarvning (ev. stumskarvning)
4. Kapning korta/långa lameller
5. Härdningszon
6. Hyvling
7. Buffert före press
8. Korsläggning korta/långa lameller
9. Limapplicering
10. Pressning
11. Ev. CNC-bearbetning
12. Ev. lagningsstation
13. Ev. förmontering av infästningar m.m.



Figur 29. Layout för CLT-produktion.

8.1 Kapacitet CLT-produktion

Kapaciteten i en CLT-produktion begränsas oftast av pressen. Beroende på limtyp tar presstiden 30–60 minuter. Vid produktion av tjockare skivor med många lager kan bestrykning och hopläggning vara begränsande.

Den mest vanliga förekommande limtypen vid CLT-tillverkning är polyuretanlim (PUR) p.g.a. den snabba härdningstiden. Exempel på kapaciteter för CLT-tillverkning med PUR-lim redovisas i Tabell 7.

Tabell 7. Produktionskapacitet vid CLT-tillverkning med PUR-lim.

Produkt	Presstid / Cykeltid	Volym per skift [m ³]	Årsvolym vid ett skift och 230 dagar [m ³]
5-lager-skiva ($t_{\text{lamell}}=30$ mm) (12 × 3 × 0.15 m)	35 min., ca 12 press/skift	65	15 000
5-lager-skiva ($t_{\text{lamell}}=20$ mm) (12 × 3 × 0.1 m)	35 min., ca 12 press/skift	43	10 000
2×3-lager-skiva ($t_{\text{lamell}}=30$ mm) (12 × 3 × 0.18 m)	35 min., ca 12 press/skift	130	30 000

Kapaciteten beror till mycket stor del på vilken typ av produkt som ska tillverkas och vilket lim som används. Maskintillverkarens kapaciteter tar inte hänsyn till stopptider som uppkommer och det är därför rimligt att anta att kapaciteten hamnar ca 20–30 % lägre än vad maskintillverkare anger. Kapaciteten ligger därför på ca 10 000 m³ för en CLT-anläggning för fullformat och med en press.

8.2 Investeringsskostnad CLT-anläggning

Med offerter från maskintillverkare på en nyckelfärdig anläggning så ligger totala investeringsskostnaden i maskiner på ca 70–80 miljoner kr plus kostnader för byggnad. Byggnadskostnaden är inte oväsentlig. Behovet ligger på 4000 m² produktionslokal plus lagringsytor utomhus.

I våra ekonomiska beräkningar har vi satt totala investeringsskostnaden till 100 miljoner kronor. Det förutsätter egentligen att man inte behöver bygga ny produktionslokal utan att man istället hittar en industrilokal som står tom och kan förvärvas till ett betydligt lägre pris än nybyggnation.

9 Ekonomiska förutsättningar

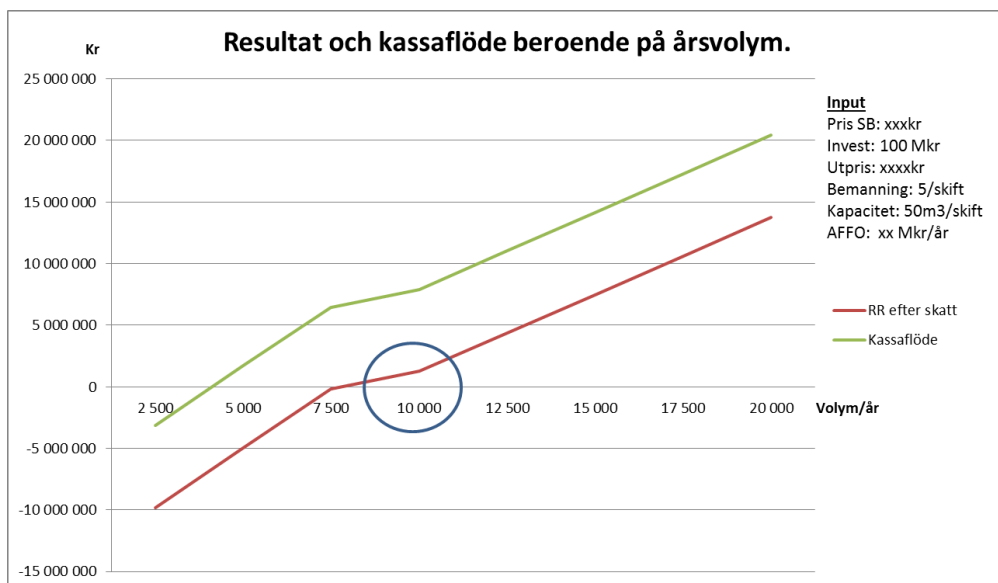
9.1 Kostnadskalkyl CLT-produktion

De ekonomiska fördelarna för en tillverkning i södra Sverige är framförallt

- god råvarutillgång, och
- bättre logistik och lägre transportkostnader i södra Sverige.

Priset på CLT ligger på ca 4000–6000 kr/m³ plus frakt beroende på vilket format och utförande man väljer. I det råa formatet (utan speciella krav på yta och utfräsningar m.m.) är priset ca 4500 kr/m³ plus frakt. Fraktkostnaden från t.ex. Österrike till södra Sverige är ca 800 kr/m³. Det är en betydande del av kostnaden.

Med ett marknadsmässigt pris på virke (kr/m³) och ett marknadsmässigt försäljningspris nås en lönsamhet vid produktion och försäljning på 10 000 m³. Råvaran är baserad på 22 mm sidbräder kvalitet VI och bättre från ett sydsvenskt sågverk och investeringskostnaden är på 100 miljoner kr, se Figur 30.



Figur 30. Resultat och kassaflöde beroende på årsvolym producerad CLT.

Kostnadskalkylen baseras på en bemanning i produktion på 5 operatörer per skift.

Så kallad *break even* nås vid en produktion på 10 000 m³ vilket motsvarar behovet för byggande av ca 350 lägenheter. Avkastning på sysselsatt kapital ligger då enbart på nivå runt 3 %. Vid en dubblad produktion på 20 000 m³ ökar lönsamheten kraftigt och når en lönsamhet på ca 10 % av sysselsatt kapital.

Priset på råvaran och försäljningspriset har stor betydelse för lönsamheten. Kan man utnyttja lägre kvalitet av råvara så ökar det lönsamheten rejält. Efterfrågan på trä och då särskilt sidbräder är avgörande för lönsamheten. Högre efterfråga på marknaden ger ett högre råvarupris.

9.2 Känslighetsanalys CLT-produktion

Känslighetsanalysen omfattar hur rörelseresultatet påverkas av följande fall:

1. - 100 kr/m³ priset på råvara,
2. + 500 kr på försäljningspriset,
3. - 5000 m³ i produktion och försäljning,
4. + 50 Mkr i investering,
5. + 10 000 m³ i ökad volym (produktionsvolym på 20 000 m³).

Dessutom har scenario på bästa och sämsta utfall studerats. Resultatet redovisas i Tabell 8.

Tabell 8. CLT-produktion: Ekonomisk känslighetsanalys.

0. utgångskalkyl	Normal	Volym 10 000m ³	F pris 4 500 kr	RR 1 500
1. Råvarukostn.	-100kr råvara	10 000m ³	4 500 kr	2 700
2. Försäljn.pris	+500kr pris	10 000m ³	5 000 kr	5 150
3. Volym	-5000m ³	5000m³	4 500 kr	-5 000
4. Investering	+50Milj kr invest	10 000m ³	4 500 kr	0
5. Volym	+10 000m ³	20 000m³	4 500 kr	10 000
Best Case	Inv. 100Mkr	20000m ³	5 000 kr	24 000
Worst Case	Inv. 150Mkr	5000m ³	4 500 kr	-4 500

Av beräkningarna enligt Tabell 8 framgår hur viktig volymen är för lönsamheten. Ett viktigt fortsatt arbete är att se hur man kan säkra försäljningsvolymen innan en eventuell investering. Genom att nå en volym på upp mot 20 000 m³ genereras en bra lönsamhet.

Med lägre transportkostnad finns en potential till en högre intäkt för produkten utan att tappa konkurrenskraft.

9.3 Sammanfattning ekonomiska förutsättningar

Ovan redovisade ekonomiska kalkyler visar på en svag lönsamhet vid en volym på 10 000 m³. Detta är inte tillräckligt för att gå in med investering. Den ekonomiska kalkylen är försiktig eftersom många av de ingående värdena är osäkra. En djupare kartläggning av exakt vad som ska produceras skulle förbättra säkerheten i kalkylen. Med en lägre transportkostnad borde prisbilden ligga närmare 5000 kr/m³. Detta skulle ge en avkastning på sysselsatt kapital på nästan 8 %.

Volymen skulle behöva nå närmare 20 000 m³ för att investeringen verkligen skall bli lönsam och ge en avkastning kring 20 %.

Hur når man en volym på 20 000 m³ CLT? Det kan vara ett förslag att titta vidare på inom ramen för Smart Housing Småland.

10 Slutsatser

De viktigaste slutsatserna som framkommit genom denna studie är följande:

- En investering på 100 miljoner kr i en produktionsanläggning för CLT i södra Sverige kan bli lönsam vid en årsproduktion och försäljning på minst 10 000 m³.
- MUF-lim bör p.g.a. tekniska aspekter i första hand övervägas för användning i en framtida CLT-produktion i södra Sverige.
- CE-märkning av CLT-produkter kräver att enskilda lameller, dvs. plank och bräder, skall vara hållfasthetssorterade som konstruktionsvirke eller limträlameller.
- Möjligheterna att tillåta vankant i CLT-lameller avgörs av visuella krav vid hållfasthetssortering.
- CLT-produktion kan vara ett bra sätt för sågverksindustrin att förädla sidobräder och centrumvirke av lägre kvalitet till en högvärdesprodukt.
- Sidobräder från skogsbestånd i södra Sverige har i allmänhet egenskaper i drag och tryck som gör dem mycket lämpliga att använda som lameller i CLT-skivor.
- Sidobräder bör dock p.g.a. dåliga egenskaper i s.k. rullskjuvning inte användas som tvärgående lameller i bjälklagsskivor.
- Vid tillverkningskontroll av CLT-produkter krävs fortlöpande provning, vilket innebär att en CLT-tillverkare antingen måste investera i provningsutrustning och provningskompetens eller anlita ett ackrediterat laboratorium.
- Tillverkning, försäljning och leverans av CLT kräver ingenjörskunskap hos leverantören som förväntas ta ansvar för konstruktion och dimensionering av stommen samt tillhandahålla projekteringsstöd.
- Möjliga marknadssegment är bostäder, sporthallar, industrilokaler, kontorskomplex, skolor, m.m.
- CLT-system baserade på element av typen helformat ger en mera rationell produktion på byggplatsen än vad system med halvformats-element ger.
- Även om element i helformat är dyrare i inköp bör de leda till att totalekonomin för ett projekt förbättras jämfört med byggsystem med element i halvformat.

Referenser

- Aicher, S. and Dill-Langer, G. (2000). *Basic considerations to rolling shear modulus in wooden boards*. Otto-Graf-Journal, 11:157–165.
- Begemann, N. (2016). Minda Industrieanlagen GmbH. Personal communication 2016-01-21.
- Bredesen, R. and Viljugrein, T. (2016). Dynea AS. Email communication 2016-04-08.
- Boverket (2012). *CE-märk nu!* Boverket, May 2012. ISBN: 978-91-87131-21-1.
- Brandner, R. (2013). *Production and technology of cross laminated timber (CLT): a state-of-the-art report*. In: Harris, R., Ringhofer, A., Schickhofer, G. (eds) Focus solid timber solutions – European conference on cross laminated timber (CLT). The University of Bath, UK.
- Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer G. and Thiel, A. (2016). *Cross laminated timber (CLT): overview and development*. European Journal of Wood and Wood Products, 74(3):331–351.
- Brännström, M. (2016). Dala Massivträ AB, Sågmyra, Sverige, and Swedish representative in CEN/TC124. Personal communication 2016-06-28.
- CEN (2004). *EN 1995-1-1:2004+A1:2008+A2:2014 Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings*. European Committee for Standardization, CEN/TC250.
- CEN (2007). *EN 13501-1:2007+A1:2009 Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using data from reaction to fire tests*. European Committee for Standardization, CEN/TC127.
- CEN (2009). *EN 14081-4:2009 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 4: Machine grading – Grading machine settings for machine controlled systems*. European Committee for Standardization, CEN TC124. Standarden upphävd 2016-02-17.
- CEN (2010a). *EN 14081-2:2010+A1:2012 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 2: Machine grading; additional requirements for initial type testing*. European Committee for Standardization, CEN TC124.
- CEN (2010b). *EN 384:2010 Structural timber – Determination of characteristic values of mechanical properties and density*. European Committee for Standardization, CEN TC124.
- CEN (2010c). *EN 408:2010+A1:2012 Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties*. European Committee for Standardization, CEN TC124.

- CEN (2013). *EN 14080:2013 Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements*. European Committee for Standardization, CEN TC124.
- CEN (2015). *EN 16351:2015 Timber structures – Cross laminated timber – Requirements*. European Committee for Standardization, CEN TC124.
- CEN (2016a). *EN 14081-1:2016 Timber structures – Strength graded structural timber with rectangular cross section – Part 1: General requirements*. European Committee for Standardization, CEN/TC124.
- CEN (2016b). *EN 338:2016 Structural timber – Strength classes*. European Committee for Standardization, CEN TC124.
- Dinwoodie, J. M. (2000). *Timber: Its nature and behaviour*. Second edition, E & FN Spon, London, UK.
- EOTA (2013). *European Technical Approval ETA-13/0684 (Martinsons Såg AB): Solid wood slab element to be used as a structural element in buildings*. European Organisation for Technical Approvals, SITAC, Karlskrona, Sweden, 2013-06-29.
- EOTA (2015). *Solid wood slab element to be used as a structural element in buildings*. European Organisation for Technical Assessment, EAD 130005-00-0304, March 2015. Official Journal of the European Union 2015/C 226/05.
- EOTA (2016). *ETA Approvals, Solid wood slab elements*. European Organisation for Technical Assessment, <http://valideta.eota.eu/pages/valideta/>, 2016-06-28 (search criteria: *product area ETAs without ETAG and solid+wood+slab*).
- Ehrhart, T., Brandner, R., Schickhofer, G. and Frangi, A. (2015). *Rolling shear properties of some European timber species with focus on Cross Laminated Timber (CLT): Test configuration and parameter study*. In: Proceedings of 2nd INTER Meeting, Sibenik, Croatia, 24–27 August.
- EU (2011). *Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the market of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC*. European Parliament and European Council.
- Frangi, A., Fontana, M., Hugi, E. and Jöbstl, J. (2009). *Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire*. Fire Safety Journal, 44:1078–1087.
- Görlacher, R. (2002). *Ein Verfahren zur Ermittlung des Rollschubmoduls von Holz*. Holz als Roh- und Werkstoff, 60:317–322.
- Hargreaves, B. (2015). *Cutting carbon: work starts on world's tallest cross-laminated timber building*. The Engineer, <http://www.theengineer.co.uk/news/cutting-carbon-work-starts-on-worlds-tallest-cross-laminated-timber-building/1020715.article>, 4 November 2015.
- Hox, K. (2015). *Branntest av massivtre*. SP Fire Research AS, SPFR-rapport SPFR A15101.

- INSTA 142 / SS 230120 (2010). *Träkonstruktioner – Konstruktionsvirke – Nordiskt T- och LT-virke – Visuella sorteringsklasser enligt INSTA 142*. Inter-nordisk standardisering, Swedish Standards Institute.
- Larsson, D., Ohlsson, S., Perstorper, M. and Brundin, J. (1998). *Mechanical properties of sawn timber from Norway spruce*. Holz als Roh- und Werkstoff, 56:331–338.
- Okabe, M., Yasumura, M. and Kobayashi, K. (2014). *Estimation of bending stiffness, moment carrying capacity and internal shear force of Sugi CLT panels*. In: Proceedings of World Conference on Timber Engineering, Quebec City, Canada, August 10–14.
- Oscarsson, J., Olsson, A., Johansson, M., Enquist, B., and Serrano, E. (2011). *Strength grading of narrow dimension Norway spruce side boards in the wet state using first axial resonance frequency*. International Wood Products Journal, 2(2):108–114.
- Oscarsson, J., Olsson, A. and Enquist, B. (2014). *Improving strength of glulam laminations of Norway spruce side boards by removal of weak sections using optimized finger jointing*. In: S. Aicher *et al.* (eds), Materials and Joints in Timber Structures, RILEM Bookseries 9, DOI: 10.1007/978-94-007-7811-5_4, pp. 45–55.
- Schickhofer, G. (2013). *CLT – European Experience: Idea and development; Technology and Applications*. Presentation at CLT Forum 2013, Tokyo, Japan, October 24.
- Serrano, E. (ed.) (2009). *Uppföljnings- och dokumentationsprojektet Limnologen: Översikt och delrapporter i sammanfattning*. School of Technology and Design, Reports, No. 47, Växjö University, Sweden.
- Sigrist, C. and Lehmann, C. (2014). *Potential of CLT produced from non-structural grade Australian Pinus Radiata*. In: Proceedings of World Conference on Timber Engineering, Quebec City, Canada, August 10–14.
- Skretteberg, J. R. (2016). Avance treteknikk AS. Personal communication 2016-01-21.
- Stauder, C. (2013). *Cross-laminated timber – An analysis of the Austrian industry and ideas for fostering its development in America*. Fachhochschule Salzburg, University of Applied Science, 27 September.
- Säll, H. (2002). *Spiral grain in Norway spruce*. Doctoral thesis, Acta Wexionensia No 22/2002, Växjö University Press, Växjö University, Växjö, Sweden.
- Wang, B., Pirvu, C. and Lum, C. (2011). *Manufacturing – Cross-laminated timber manufacturing*. Chapter 2 In: Gagnon, S., and Pirvu, C. (eds) *CLT Handbook: Cross-laminated timber*. ISBN 978-0-86488-547-0. FPInnovations, Quebec City, Canada.
- Zhou, Q., Gong, M., Chui, Y. H. and Mohammad, M. (2014). *Measurement of rolling shear modulus and strength of cross laminated timber fabricated with black spruce*. Construction and Building Materials, 64:379–386.

White, G. (2016) . *World's tallest CLT structure of its kind underway*.
<http://www.ramboll.co.uk/news/ruk/dalston-lane-clt-arrives-on-site>, 27 juni 2016.

Östman, B. (ed) (2012). *Brandsäkra trähus, version 3*. SP Sveriges Tekniska
Forskningsinstitut, SP Rapport 2012:18.