

# Planering av CLT

Emil Bagger

Examensarbete för Ingenjör (YH)-examen

Utbildningen för bygnads- och samhällsteknik

Raseborg 2020



## EXAMENSARBETE

Författare: Emil Bagger

Utbildning och ort: Byggnads- och samhällsteknik, ingenjör. Raseborg

Inriktningsalternativ/Fördjupning: Planering och byggnadskonstruktion

Handledare: Towe Andersson

Titel: Planering av CLT

---

Datum 02.04.2020

Sidantal 48

Bilagor 2

---

### Abstrakt

Användningen av korslimmade träelement, s.k. CLT (Cross Laminated Timber) håller på att växa i Finland. CLT är ett naturvänligt och mångsidigt byggnadsmaterial av vilka det är enkelt och snabbt att bygga små eller stora byggnader.

CLT är ett modernt och vackert byggnadsmaterial där man har förbättrat träets alla dåliga egenskaper genom att korslimma trälameller. Dock kan bristen på kunskap och dålig planering leda till dåligt byggda CLT-hus.

Målet för detta examensarbete är att göra en planeringsanvisning om CLT för småföretag, planerare och beställare. Jag beskriver hur man ska planera ett småhus som har CLT som bärande konstruktion. Arbetet omfattar också CLT:s egenskaper och möjligheter.

Här beskrivs vilka verksamhetsmodeller man ska följa med tanke på planeringen och krav. Jag tar upp olika konstruktionsalternativ och berättar om monteringen och dimensioneringen av CLT.

---

Språk: Svenska

Nyckelord: CLT, massivträ, planering, dimensionering

---

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Emil Bagger

Degree Programme: Construction and Civil Engineering, Raseborg

Specialization: Structural Engineering

Supervisor(s): Towe Andersson

Title: Planning of CLT

---

Dateo 02.04.2020

Number of pages 48

Appendices 2

---

### **Summary**

The use of cross-glued wood elements, so-called CLT (Cross Laminated Timber) is growing in Finland. CLT is a nature-friendly and versatile building material and it is easy and quick to build small or large buildings from it.

CLT is a modern and beautiful building material where you have improved all the bad properties of the wood by cross gluing wooden lamellas together. However, the lack of knowledge and poor planning can lead to poorly built CLT houses.

The purpose of this thesis is to make a planning instruction of CLT for small businesses, planners and clients. I describe how to plan a detached house that has CLT as its supporting structure. The work also encompasses CLT's features and capabilities.

A description of which operation models to follow in terms of planning and requirements. I discuss various construction options and write about the assemblage and dimensioning of CLT.

---

Language:

Key words: CLT, solid wood, projection, dimensioning

---

# OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Emil Bagger

Koulutus ja paikkakunta: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri. Raasepori

Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Rakennussuunnittelu

Ohjaaja(t): Towe Andersson

Nimike: CLT:n suunnitteluohje

---

Päivämäärä 02.04.2020

Sivumäärä 48

Liitteet 2

---

## Tiivistelmä

Ristiinliimatujen puuelementtien, eli CLT:n (Cross Laminated Timber) käyttö on alkanut kasvaa Suomessa. CLT on ympäristöystävällinen ja monipuolinen rakennusmateriaali ja siitä on nopeaa ja helppoa rakentaa pieniä tai isoja rakennuksia.

CLT on moderni ja kaunis rakennusmateriaali, jossa on parannettu puun kaikkia huonoja ominaisuuksia ristiin liimatuilla puulamelleilla. Kuitenkin puu uuden rakennusmateriaalin tuntemuksesta ja huono suunnittelu voi johtaa huonosti rakennettuun CLT-taloon.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tehdä suunnitteluohje CLT:stä pienyrittäjille, suunnittelijoille ja asiakkaille. Minä tuon esiin miten suunnitella CLT-pientalo. Työssä käsitellään myös CLT:n ominaisuuksia ja mahdollisuuksia.

Minä kerron mitä eri toimintamalleja voi seurata suunnittelunäkökulmasta ja vaatimusten perusteella. Otan esiin eri rakennevaihtoehtoja ja kerron CLT:n työstämisestä ja mitoituksesta.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: CLT, massiivipuu, suunnittelu, mitoitus

---

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
2	Allmänt om CLT .....	2
2.1	Varför CLT?.....	3
3	Verksamhetsmodell.....	5
3.1	Bygglovsansökan.....	5
3.2	Användning och planering.....	5
3.3	Transport, lossning, förvaring och lyftning.....	7
3.4	Montering.....	10
4	Planering.....	12
4.1	Dimensioner .....	12
4.2	Uppbyggnad.....	13
4.3	Ytkvalitet och ytbehandling .....	14
4.4	Förband och anslutning.....	14
5	Dimensionering.....	21
5.1	Nuvarande status för CLT i EC 5.....	21
5.2	Belastning vinkelrätt mot planet.....	22
5.3	Belastning i planet.....	23
5.4	Definitioner och verknings sätt .....	23
5.5	Rullskjuvning .....	24
5.6	Beräkningsmodeller .....	25
5.7	Gamma-metod .....	26
5.8	Timoshenkoteori .....	28
5.9	Dimensionering – brottgränstillstånd.....	29
5.9.1	Dimensionerande hållfasthet.....	29
5.9.2	Belastning vinkelrätt mot planet – Böjmoment.....	30
5.9.3	Belastning vinkelrätt mot planet – Tvärkraft.....	32
5.9.4	Belastning i planet – Normalkraft.....	33
5.9.5	Belastning i planet – Skjuvning.....	35
5.9.6	Tryck vinkelrätt mot planet.....	37
5.9.7	Tryck och böjning – Knäckning.....	40
5.9.8	Belastning i planet – Väggskiva/balk med punktupplag.....	42
	.....	43
5.10	Dimensionering – Brukgränstillstånd.....	43
5.10.1	Några speciella egenskaper för CLT.....	44
5.10.2	Svikt och vibrationer.....	44
6	Sammanfattning.....	45

Källförteckning .....	47
Figurförteckning .....	48
Tabellförteckning.....	49
7 Bilagor.....	1

# 1 Inledning

I Finland är det utmanande att bygga på grund av vårt varierande klimat och därför måste planeringen också basera sig enbart på finska normer. Vi har många olika byggnadsmaterial till förfogande men i och med att man försöker minska koldioxidutsläppen så har användningen av trä ökat.

Mer än 70 % av Finlands landyta är täckt av skog och Finland är relativt sett det skogrikaste landet i Europa (Jord- och skogsbruksministeriet, 2020). Trä har de minsta koldioxidutsläppen av alla byggnadsmaterial (puuinfo.fi, 2020) och går att kombinera bra med andra byggnadsmaterial. Där kommer CLT in som ett bra alternativ, det är miljövänligt och man har förbättrat träets hållfasthet genom att korslimma många lameller.

Detta examensarbete kommer att vara mera som en planeringsanvisning om hur CLT fungerar som material och vad man ska tänka på om man tänker bygga med CLT. Arbetet kommer mestadels att vara inriktat på planering och dimensionering av småhus av CLT-element.

## 2 Allmänt om CLT

CLT står för cross laminated timber, alltså korslimmade träskivor, vilka består av minst tre lager trälameller i olika storlekar. CLT klassificeras som en massivträskiva. I andra länder kallas CLT också för KL-trä (korslimmat trä), X-lam, KHL och BSP. Det vanligaste lamellantalet är 3, 5, 7 eller 8 och skivtjocklekarna är 60 mm – 400 mm tjocka. Vid limning av CLT används bara naturvänligt formaldehydfritt lim. Tack vare de korslimmade lamellerna är CLT ett starkt och tätt byggnadsmaterial. Storleken på CLT-skivorna kan variera mellan 2,95 - 4,8 m i bredd och 12 – 20 m i längd. Storlekarna varierar mellan olika tillverkare och logistik och frakt kan också påverka. Elementen storlek och vikt möjliggör ett snabbt byggande och minimerar trästommens skarvar. (Puuinfo, 2020)



Figur 1. CLT – Cross Laminated Timber.

CLT görs överlag av gran och tall. Till synliga ytor kan man även använda andra träslag.

CLT är ett extremt mångsidigt byggnadsmaterial som lämpar sig bra att kombinera med andra byggnadsmaterial. CLT används till väggar, takkonstruktioner, mellan- och bottenbjälklag. De massiva träskivorna kan man tillverka med millimeters noggrannhet utifrån arkitektens ritningar, vilket ger en frihet i planeringen av utformning och konstruktioner.

Tack vare CLT:s goda hållfasthet passar den för nästan vilka byggnadsprojekt som helst, t.ex. småhus, flervåningshus, idrotts- och industrihallar, skolor, daghem och köpcenter.

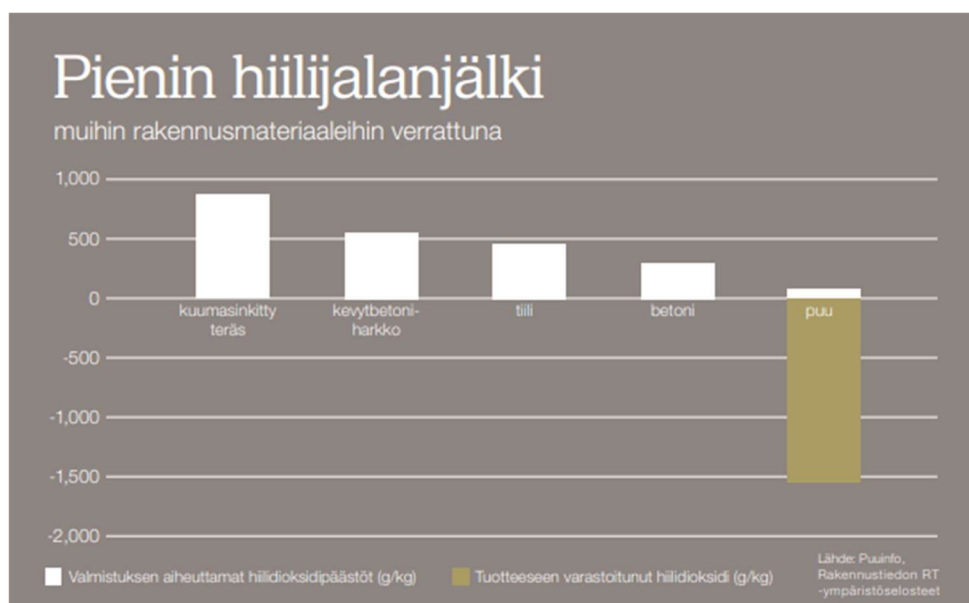


CLT:s ytter- och innerväggar är tunnare än t.ex. en tegelvägg. Genomsnittligt betyder detta 6 - 10 procent mera boendeyta i ett hus av CLT. Denna utrymmesbesparing är en av CLT:s många fördelar. (Stora Enso, 2020)

## 2.1 Varför CLT?

CLT är framtidens byggnadsmaterial och erbjuder många fördelar jämfört med vanligt trävirke, betong och stål. Det speciella med trä och CLT är att det är ett material som andas, vilket betyder att det kan anpassa sig efter fukthalten och är ånggenomsläppligt.

CLT är en naturlig och förnybar råvara som har en positiv CO<sub>2</sub> - balans, se figur 2. Ett noggrant planerat och byggt CLT-hus, som dessutom skyddas från väder och fukt kan hålla flera hundra år. (Stora Enso, 2020)



**Figur 2. CLT har de minsta koldioxidutsläppen jämfört med andra byggmaterial. (Puuinfo, Rakennustiedon RT – ympäristöselosteet)**

När det kommer till vikt är CLT lättare än betong och tegel. När man räknar med frakten och lyft väger CLT 470kg/m<sup>3</sup> men för dimensionering använder man sig av vikten 500kg/m<sup>3</sup>. Betong väger 2500kg/m<sup>3</sup> och tegel 1200-1500kg/m<sup>3</sup>, vilket betyder att CLT är ett väldigt lätt material i jämförelse. (Stora Enso, 2020)

På grund av CLT:s massiva uppbyggnad har det utmärkta byggnadstekniska egenskaper såsom hållfasthet, fukttålighet, vindtätet, lufttätet och motstånd mot brand. Det har även bra värmeisoleringsförmåga vilket förenklar och ger fler möjligheter i planeringen. Det är också snabbt och enkelt att montera CLT-elementen med hjälp av skruvar som sätts i skarvarna. (Rautiainen, E., 2018)

CLT är vackert att se på och man kan beställa elementen listfria med färdiga innerytor, se figur 3, vilket betyder det ser stilrent ut utan onödiga arbetstimmar.



**Figur 3. CLT:s färdiga och listfria innerytor efter monteringen.**

## **3 Verksamhetsmodell**

### **3.1 Bygglovsansökan**

Till att börja med ska byggaren bekanta sig med kommunens byggnadsordning och det pappersarbete som krävs för bygglovsansökan. Information hittar man oftast på kommunens egna hemsidor eller genom att kontakta någon från byggnadstillsynen. Det lönar sig att bekanta sig med områdets stadsplanering och förordningar innan man köper tomten, så att det inte kommer några överraskningar i förordningarna. T.ex. stränga stadsplaneringar kan begränsa användningen av CLT. Det gör man lättast genom att ringa ett samtal till kommunens byggnadsmyndigheter. Att skaffa ett speciallov för byggande kan upp till ett år, och lovets godkännande är inte garanterat.

Med bygglovsansökan begär kommunen oftast en planritning, situationsplan, fasad- och skärningsbild på huset. Situationsplanen kan man göra med hjälp av kommunens planeringskartbotten, denna kan man begära ut av kommunen. (Rautiainen, 2018)

### **3.2 Användning och planering**

Användningen av CLT skiljer sig från sedvanligt element- och lösvirkesbyggande på det sätt, att planeringen har en mycket större betydelse. Efter att CLT-elementet har planerats och tillverkats, rekommenderas man att inte göra några stora ändringar på skivorna. Exempel på ändringar kan vara el- och rördragningar, urtag för belysningar osv. Dessa ändringar kan bli väldigt arbetsdryga, och tilläggsarbetet resulterar förstås i mera kostnader och förseningar i tidtabellen, se figur 4.



**Figur 4. Tilläggsarbete på grund av måttavvikelse.**

Genom att genomgående använda sig av samma skivtjocklekar, skivtyper och standardlösningar håller man planerings- och tillverkningskostnaderna nere. På det sättet blir CLT-byggandet både smidigt och kostnadseffektivt.

I CLT-skivornas skarvar kan man fräsa enkla spontar, och då räcker det med en enda detaljritning för alla sammanfogningar. Enkla spontar utförda med tätning eller massa är också förmånliga för kunden. Det lönar sig att bekanta sig med detaljerna i förväg, då det redan finns färdiga lösningar på det mesta. Det kan också vara en fördel att jobba i 3D-planeringsprogram. Då är det lättare att upptäcka måttavvikelser, och kunden får en bra inblick i det tänkta slutresultatet. En annan rekommendation är att använda sig av någon som har tidigare erfarenhet av CLT-planering, eftersom det är en obekant produkt för många. (Rautiainen, 2018)

### 3.3 Transport, lossning, förvaring och lyftning

Man bör vara i kontakt med tillverkaren för att få mera information om transport, lossning, lyftning och montering. CLT-skivornas monteringsordning ska vara planerad i förväg. Oftast är det huvudplaneraren som bestämmer denna ordning, och detta ska meddelas till elementfabriken senast två veckor innan tillverkning. Planeraren måste också ta i beaktande att skivorna kan komma att stå på mellanlagring en tid innan de monteras. Om man inte anmäler någon monteringsordning så bestämmer fabriken det. (Rautiainen, E., 2018)

Medelvikten för ett element är 1-2 ton, men de tjockaste kan väga upp till 6 ton.

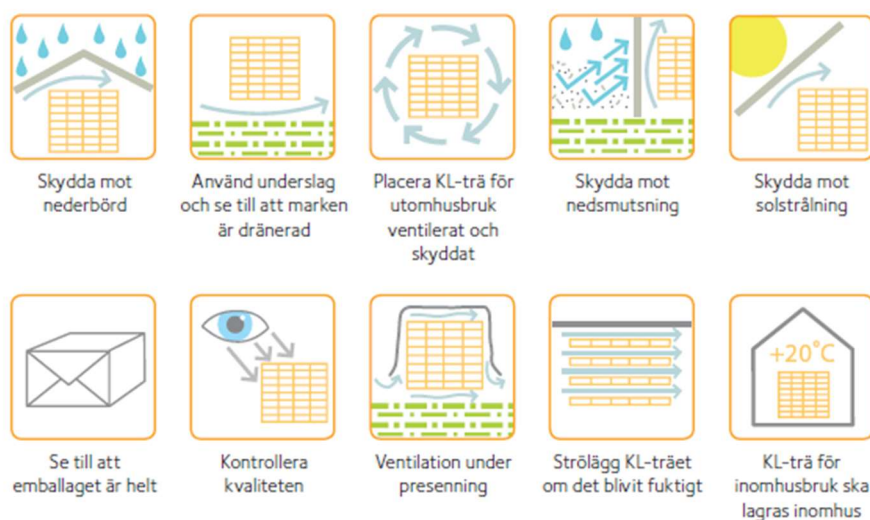
Transporten av elementen kan göras liggande eller stående. 25 ton är den maximala lasten för en standard semitrailer. Maximibredden varierar mellan 2,5-3m, maximilängden mellan 13,6-15m. Men överlag kan man säga att vid liggande transport får man in flera kubik än vid stående transport. Vid liggande transport måste man skydda CLT-skivorna med t.ex. en presenning eftersom det är ett öppet flak, se figur 5. Men vid stående transport behövs ingen extra täckning, då det finns färdigt täcknings-redskap på semitrailern. När man beräknar lastvikt använder man, beroende på tillverkare, vikten 490-500kg/m<sup>3</sup>. (Stora Enso, 2017) (Rautiainen, 2018)



Figur 5. Liggande transport av CLT element.

Semitrailerns väg fram till lossningsplatsen måste vara hinderfri och tillräckligt bred. Vägens bärighet måste vara tillräckligt stor och man kan behöva röja bort kvistar som är i vägen.

Skivorna kan förvaras både liggande och stående, även om stående förvaring rekommenderas. Om skivorna är liggande lägger man tråklossar med jämna mellanrum mellan elementen. Vid kort förvaring räcker det om skivorna är 10cm upp från marken, men ska dom lagras en längre tid behöver de vara 30cm från marken. När man täcker skivorna måste man lämna en luftspalt mellan presenningen och skivorna. Vid förvaringen måste man också ta regn och fukt i beaktande, och även UV-strålning, som kan ha påverkan på ytornas utseende, se figur 6. Långvarig förvaring borde undvikas. (Rautiainen, 2018)



**Figur 6** Tips för att skydda CLT – produkter. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

Den som bygger ska bekanta sig med tillverkarens anvisningar när det kommer till lyftanordningar, eftersom olika tillverkare använder olika metoder och anordningar. När man lyfter skivorna använder man sig oftast av lyftöglor som skruvas fast i CLT elementen, se figur 7. Lyftöglorna ska finnas i jämnt antal, och har de en gång använts ska de inte återanvändas. Man kan också använda lyftlinor, men då ska det finnas en urfräsning i botten av CLT elementet, så att dom hålls på plats. Skivor med färdiga ytor rekommenderas ha hörnskydd som skyddar mot skador. (Rautiainen, 2018)



**Figur 7. Lyftning av CLT-element med hjälp av lyftögla.**

Element med stora öppningar rekommenderas att lyftas stående för att undvika stora skador eller böjningar. Stora öppningar sågas bara upp delvis för att ge extra stabilitet vid transport och lyftning, se figur 8. Efter montering på byggsplatsen sågar man upp öppningen helt. Planeraren meddelar fabriken i god tid vilken av de ovan nämnda lyftmetoderna man bestämt sig för. (Rautiainen, 2018)



**Figur 8. Stora öppningar sågas bara upp delvis vid transport och lyftning. (Timberpoint, 2020)**

### 3.4 Montering

Montering av CLT-element skiljer sig inte så mycket från annan elementmontering. Man kan behöva kontrollmäta grunden eller sockeln, samt gå igenom monteringsordningen. Sockeln ska vara på millimeters noggrannhet i plan inför monteringen av CLT elementen, för att undvika måttavvikelse i senare skeden. Eftersom CLT är ett så pass nytt byggnadsmaterial, finns det inte tillräckligt med kunskap om den hos de flesta av byggföretagen. Därför skulle det vara bra att ha en expert på plats från CLT-tillverkaren i början av montaget. Denna hjälp skulle lösa många problem som finns i startskedet av monteringen av elementen, det skulle bli effektivt i och med att alla frågor kring monteringen skulle lösas och man skulle undvika förseningar i montaget.

I monteringen av CLT-element måste det också finnas en bra uttänkt plan på det hela. Oftast är det mellan projektets konstruktör och tillverkaren av CLT-elementen man löser frågan. I denna plan ska det finnas med montageordning och vikten på elementen. Man ska kunna jämföra numreringen i planen enkelt med respektive element. Anvisning av strävning ska också finnas med, speciellt för väggarna. Exempel på strävning av CLT-element, se figur 9.



Figur 9. Strävning av CLT-element.

Stomstabilisering är extra viktigt om man bygger högre än tvåvåningsbyggnader av CLT. Man utnyttjar i normala fall bjälklagen och väggarna för att stabilisera hela stommen, med hjälp av olika typer av infästningar och förankringar, se figur 10. Förbandens uppgift är inte enbart att hålla konstruktionerna på plats, utan också att kunna överföra stora laster i olika riktningar. Därför är det viktigt att följa planerarens instruktioner och detaljer noggrant gällande infästningar och förankringar i montaget. Man måste kompensera långtidsdeformationen som uppstår under byggnadsprocessen genom att förspänna



förankringarna till en viss mån. Vartefter att man bygger upp stommen i våningar ska förankringen monteras. Man måste kontrollera att förspänningen i förankringarna är tillräckliga vartefter att byggnaden växer på höjden. På grund av de vertikala sättningarna kan förankringen förlora sin spänning och börja glappa. Om detta sker måste man efterspanna förankringarna. (KL-trähandbok, 2017)



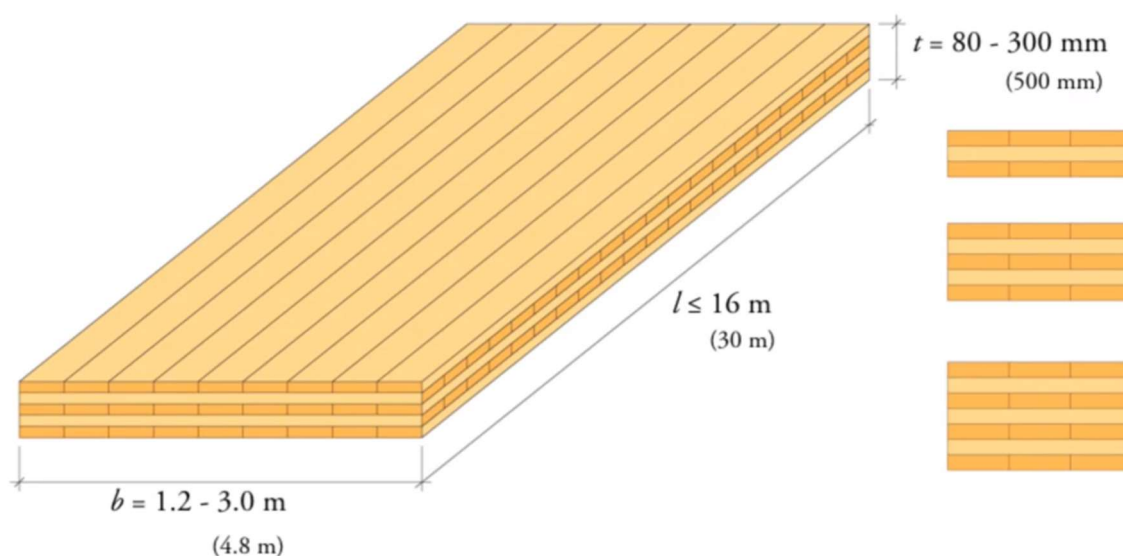
**Figur 10. Tillfällig förankring under montage.**

## 4 Planering

En bra planering av CLT har en stor vikt för hur bra projektet löper vid monteringskedet. Den största orsaken till fördröjning på byggsplatsen är en dålig planering av helheten och för invecklade konstruktions- och detaljlösningar.

### 4.1 Dimensioner

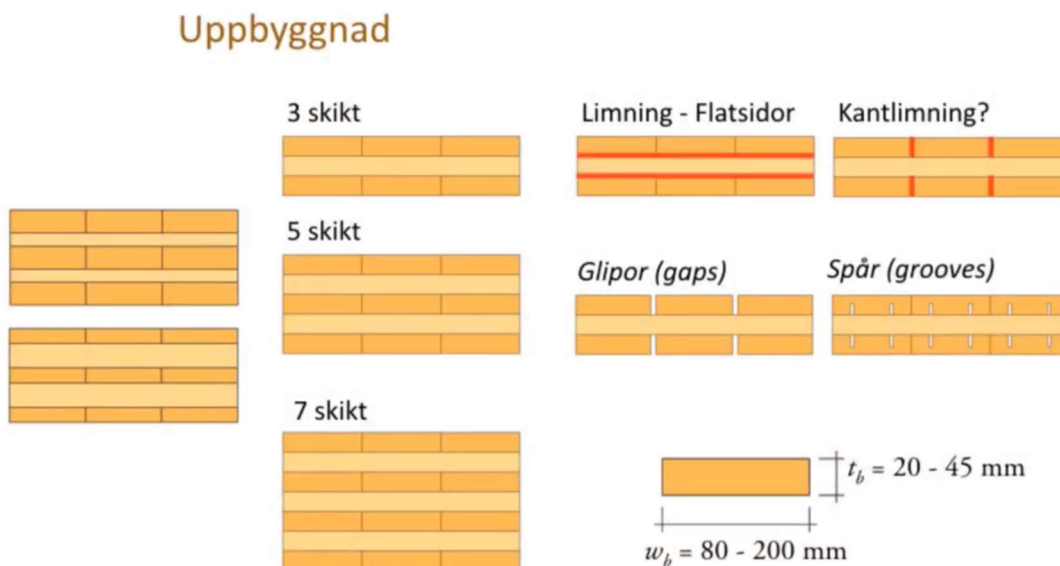
- Vanliga bredder: 1,2 – 4,8 m
- Vanliga längder: upp till 20 m
- Vanliga tjocklekar: 60 – 400mm
- Både längd- och breddmått är kopplade till vilka möjligheter som finns vid produktion och transport. (Danielsson, 2017)



Figur 11. Vanliga dimensioner för CLT-skivan. (Svenskt Trä, 2017)

## 4.2 Uppbyggnad

- Vanligaste antal skikt är 3, 5, 7
- Brädornas bredd är vanligtvis 80 – 200mm, tjockleken 20 – 45mm
- Uppbyggnaden kan göras med samma brädtjocklek i alla skikt, men man kan anpassa styvheten och bärförmågan i båda riktningarna genom att använda tjockare brädor i de olika skikten, beroende på lastfall och vilken bräddriktning man vill ska bära mer.
- Flatsidan på brädorna är alltid limmade men man kan även ha så kallad kantlimning då man även limmar kanterna av brädorna. Det ger en styvare skiva, men vid dimensioneringen beaktar man ändå inte den positiva inverkan av kantlimning, och det har att göra med att kantlimningen brukar spricka upp.
- Man kan också få element med färdigt sågade spår eller glipor i lamellerna. (Danielsson, 2017)



Figur 12. Vanliga uppbyggnad av CLT-skivan. (Svenskt Trä, 2017)

### 4.3 Ytkvalitet och ytbehandling

CLT-skivornas viktigaste egenskaper är att de är hållbara, hållfasta och tillräckligt styva men kan samtidigt göras vackra. Det flesta CLT-elementen uppfyller normala utseendekrav i standardproduktion. En viktig sak är också att man hanterar elementen försiktigt vid transport och på byggplatsen för att undvika skråmor och inbucklingar. CLT-skivornas ytkvalitet och ytbehandling kan variera från olika tillverkare men oftast är utseendeklasser indelade i synliga och icke synliga ytor. Beroende på vilken utseendeklass man väljer så väljer man ytbränderna utifrån det. CLT-skivorna kan ytbehandlas som vanligt trä, till exempel med olja, lack, målning och lasering. Exempel på kvalitetskrav av synliga och icke synliga ytor nämns i figur 13. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

Utseendeklass	Kan förekomma	Tillåts ej
Synlig yta	Få kådlåpor under 3 × 40 mm, svartkvist mindre än 10 mm, torrkvist mindre än 10 mm, friskkvist	Barkdrag, lyror, fast/lös röta, märe, insektsangrepp, vankant, kvisthål, röt kvist, barkringskvist, kvistutslag, sprickor (avser ej torksprickor), uppträngt lim
Industriyta	Få kådlåpor under 3 × 40 mm, svartkvist mindre än 20 mm, torrkvist mindre än 20 mm, friskkvist, märe, kvisthål, kvistutslag i ringa omfattning, uppträngt lim	Barkdrag, lyror, fast/lös röta, insektsangrepp, vankant, röt kvist, barkringskvist, sprickor (avser ej torksprickor), iögonfallande kvistsamlingar
Ej synlig yta	Kådlåpor, kvisthål, svartkvist, röt kvist, torrkvist, kvistutslag barkringskvist, friskkvist, märe, sprickor, insektsangrepp, uppträngt lim, färgskillnader mellan brädor, blånad i mindre omfattning	Fast röta, lös röta

Bild 13. Exempel på utseendeklasser. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

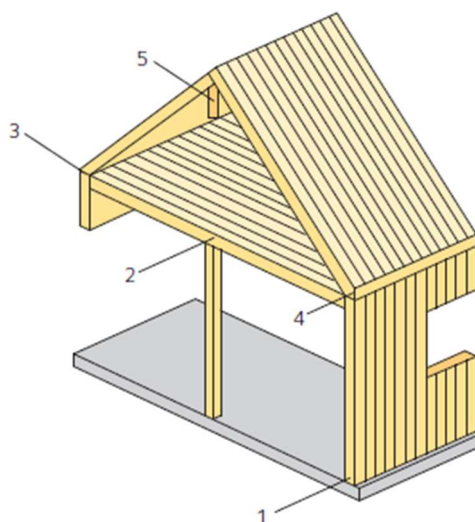
### 4.4 Förband och anslutning

När man börjar planera förband och anslutningsdetaljer lönar det sig att hålla sig till enkla lösningar så långt som möjligt. Med förbanden kan man påverka CLT:s egenskaper, bärförmåga och stabilitet i konstruktionerna, detta är också kopplat till akustik och brand. Man kan också undvika olika slags brott i konstruktionerna med hjälp av rätt sorts planering och genom dimensionering av förbanden i konstruktionerna. Vanligtvis använder man sig av olika typerns självborrande träskruvar som man skruvar in rakt i CLT:s lastöverförande

skarvar av olika slag. Det används också beslag av plåt, såsom spikplåt eller vinkelbeslag som man spikar fast med ankarspikar eller ankarskruvar.

I fråga om CLT finns det några speciella faktorer man måste ta i beaktande när man dimensionerar förband och anslutningar. Man måste ta i beaktande lastens riktning i förhållande till fiberriktningen, hur länge lasterna påverkar konstruktionerna och klimatklassen av konstruktionerna. På grund av att CLT är uppbyggt av flera olika skikt av brädor som har olika fiberriktningar är det speciellt viktigt att hålla koll på vilken riktning lasterna går i. En fördel med planering av förband och anslutningar är att man har en konstruktör som har erfarenhet av CLT.

Även i ett enkelt byggt CLT-hus finns det flera antal olika förband och anslutningar som behöver förbandslösningar av knutpunkter, se figur 14.

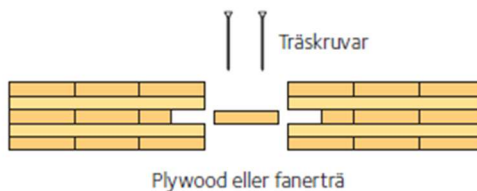


**Figur 14. Förband i ett CLT-hus. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)**

1. Fastsättning mellan grund och väggskiva.
2. Fastsättning mellan bjälklag och pelare
3. Fastsättning mellan bjälklagsplatta och väggskiva
4. Fastsättning mellan takplatta och väggskiva
5. Fastsättning mellan takplattor och nockbalk

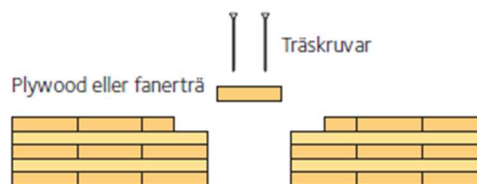
CLT-skivans skarvning kan bearbetas på många olika sätt, såsom olika kombinationer av spontar och träskruvar. Nedan beskrivs de vanligaste lösningarna som man brukar tillämpa. Fogarna kan göras av fanerträ, hyvlat virke, plywood eller med en stålplatta.

**Skarv med lös spont** är en vanlig lösning, se figur 15. Skarven kan också göras med dubbla lösa spontar. Sponten kan spikas eller skruvas ihop. Skarven kan förflytta laster i båda riktningarna längs CLT-skivans plan.



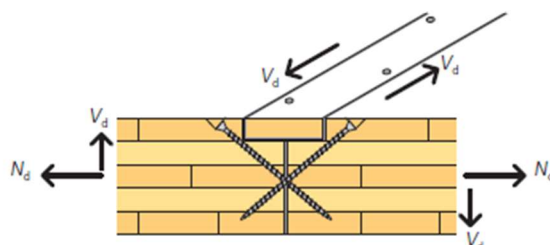
Figur 15. Skarv med lös spont. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

**Skarv med enkel träfog** är den enklaste skarven man kan göra, se figur 16. Fogen kan spikas eller skruvas fast i elementen som har färdig utfräsning. Skarven kan förflytta laster i båda riktningarna längs CLT-skivans plan.



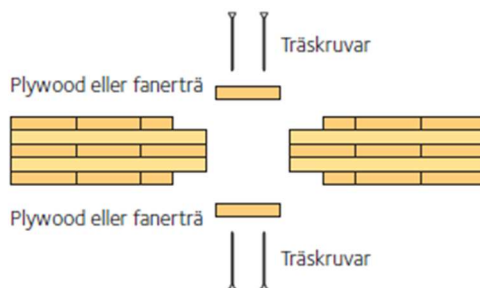
Figur 16. Skarv med enkel träfog. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

**Skarv med enkel träfog och snedskruvning**, se figur 17. Här har man förstärkt skarven med långa självborrande träskruvar som borrar snett.



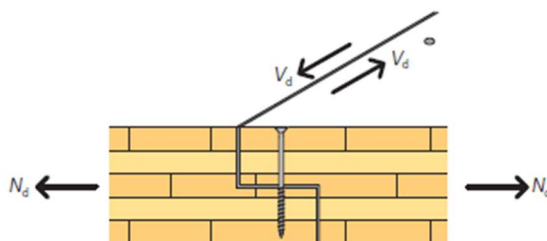
Figur 17. Skarv med enkel träfog och snedskruvning. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

**Skarv med dubbla träfogar**, se figur 18, tål moment och tvärkrafter bättre i förbandet och själva konstruktionen. Träfogarna kan spikas eller skruvas ihop.



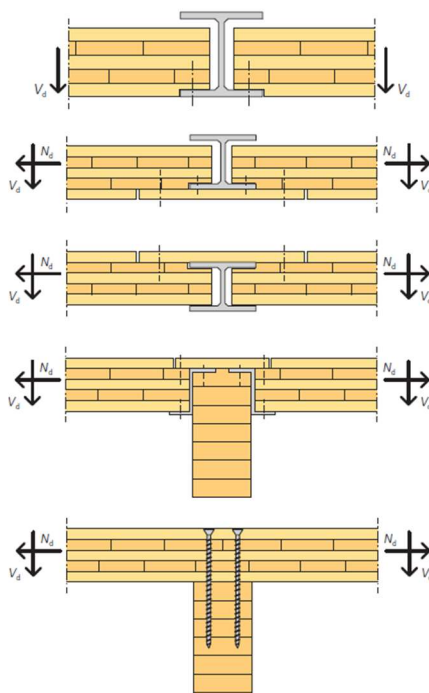
**Figur 18. Skarv med dubbla träfogar.**  
(Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

**Skarv med halv spontar** eller så kallad halvt i halvt skarv är en enkel och populär metod inom byggandet, se figur 19. Denna metod är enkel och garanterar ett snabbt montage av CLT-elementen. Förflyttning av krafter fungerar i både längsgående- och tvärgående skikten.



**Figur 19. Halvt i halvt skarv.** (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

**Anslutningar mot balkar** används ofta om man har stora bjälklag som behöver extra stöd då spännvidden blir för stor. Anslutningar mot balkar kan utföras på många olika sätt beroende på användningsändamålet, se figur 20.

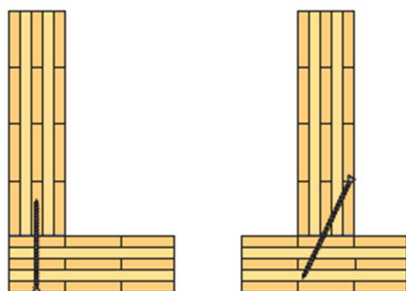


**Figur 20. Exempel på anslutningar mot balkar.**  
(Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

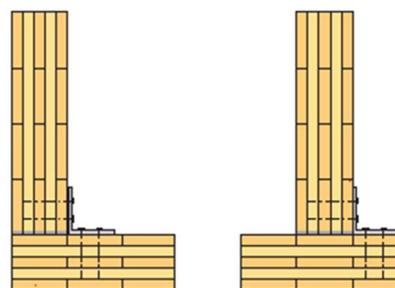
**Fastsättning mellan väggskivor** kan åtgärdas med självborrade träskruvar, vinkeljärn eller gömda specialinfästningar. Ytterligare tillägg kan behövas för att förbättra anslutningarnas egenskaper mot brand och ljud. Den lättaste metoden är att använda självborrande träskruvar, se figur 21. Det är viktigt att man säkerställer skruvarnas placering och att man inte skruvar enbart längst fiberriktningen av CLT-skivan. För att minimera risken för felaktig skruvning eller om man helt enkelt inte kommer åt att skruva rakt så kan man snedskruva. Denna metod är bra för synliga ytor.

Fastsättning med vinkeljärn eller spikplåtsvinklar är också en enkel metod att använda sig av, se *bild 22*. Det finns urval av vinklar som passar sig för synliga och icke synliga ytor men är dock mindre lämplig för synliga ytor. Denna metod överför effektivt tvärkrafter genom anslutningar.



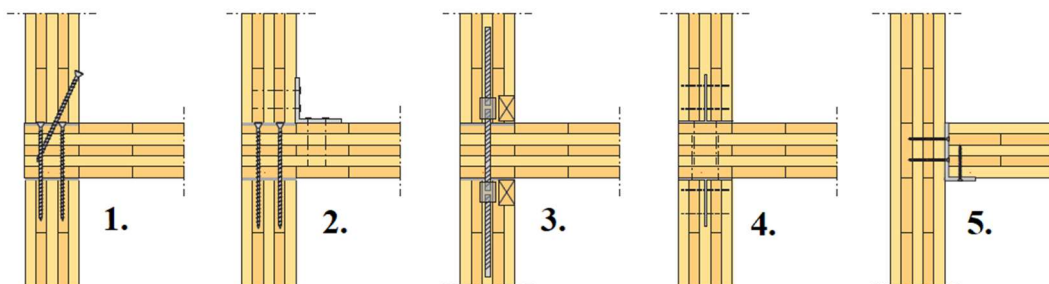


Figur 21. Fastsättning med skruvar.  
(Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)



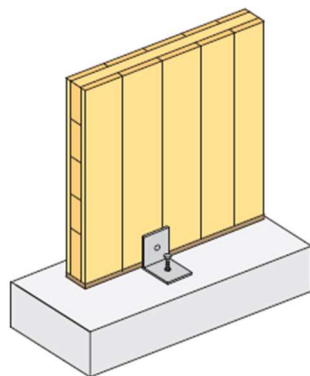
Figur 212. Fastsättning med vinkelbeslag. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

**Fastsättning mellan väggskiva och bjälklagsplatta** kan utföras med olika infästningsmetoder. Det vanligaste och enklaste metoden är montage med långa självborrande träskruvar, se figur 23: 1. Andra metoder är fastsättning med vinkeljärn, se figur 23: 2. & 3., helgängade skruvar, se figur 23: 3., inslitsade beslag, se figur 23: 4.

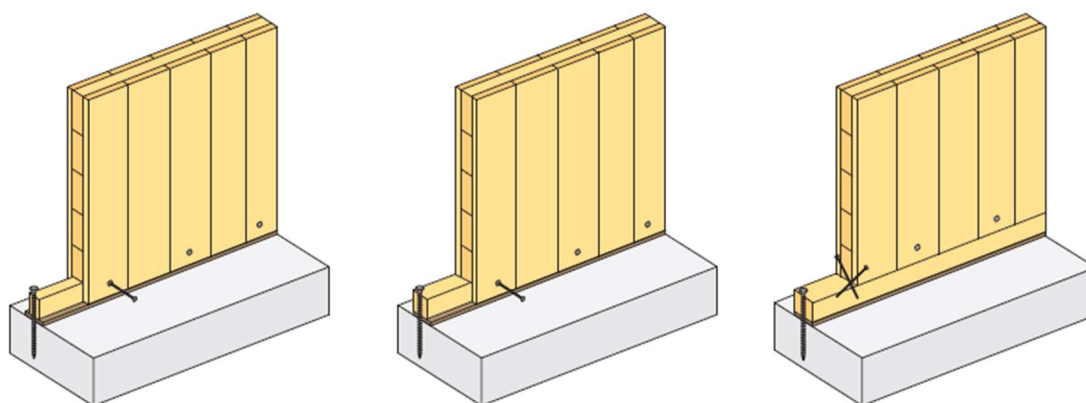


Figur 23. Fastsättningsmetoder mellan väggskiva & bjälklagsplatta. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

**Fastsättning mellan väggskiva och grund** kan göras med två olika metoder. Man kan göra anslutningen med vinkeljärn, se figur 24, som man kan gjuta in i grunden eller svetsa/proppa fast vinkeljärnet. Den andra metoden är fastsättning av väggskivan på eller emot en styrregel som proppas fast i grunden, se figur 25, som man skruvar fast med träskruvar. Man måste komma ihåg att montera fuktspärr mellan betongen och träet.

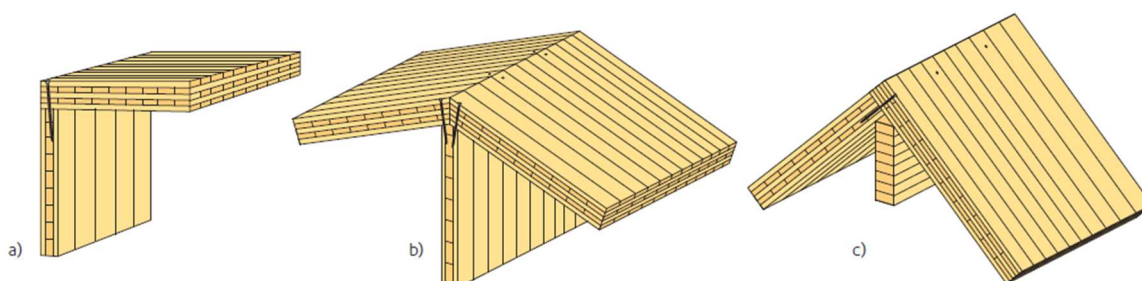


**Figur 24. Fastsättning med vinkeljärn mot grund. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)**



**Figur 25. Fastsättning med styrregel mot grund. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)**

**Fastsättning av takplattor** använder man sig av långa självborrade träskruvar i olika anslutningsmetoder, se figur 26.



**Figur 26. Fastsättning av takplattor av CLT. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)**

(Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

## 5 Dimensionering

När det kommer till dimensionering, kan man hämta bl.a. formler och koefficienter från olika källor. Det finns Eurokoder, CLT-handböcker och enskilda tillverkares anvisningar som man kan följa för att dimensionera CLT. Observera att beteckningar för krafter, moment, spänningar och hållfasthet varierar mellan olika källor. Principerna som nämns i detta kapitel baseras på den svenska KL-handboken och gäller alltså specifikt för svensk standard.

I de räkneexempel som finns som bilaga har jag använt Crosslams dimensioneringsformler, tillsammans med koefficienter från Eurokoden och RIL.

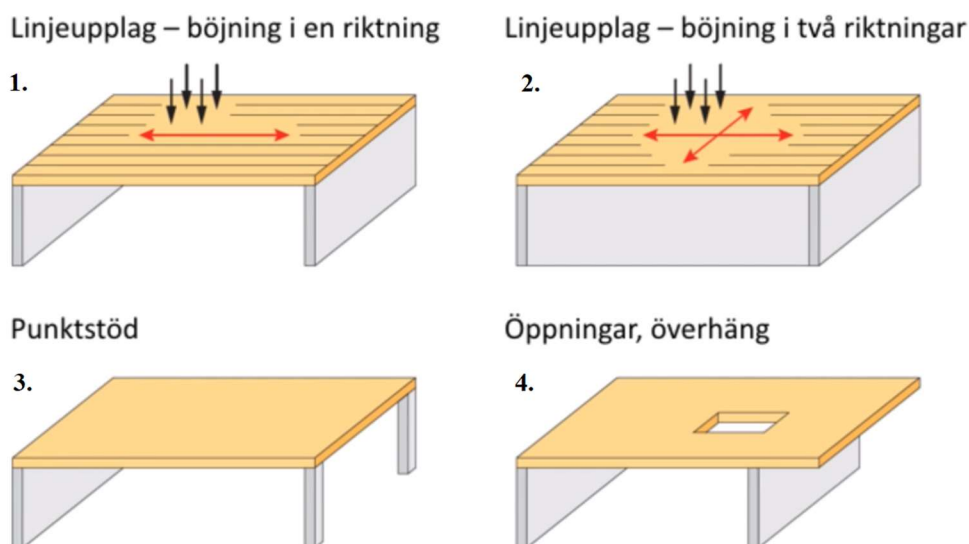
Det grundläggande konceptet är att använda udda antal skikt som är ihoplimmade i varandra med 90 graders vinkel i förhållande till varandra. Då får vi stora skivor med relativt god styvhet och bärförmåga för böjning i två riktningar, både för belastning vinkelrätt mot planen och även för belastning i planet. Detta gör att elementen är mångsidiga och kan användas på många olika sätt t.ex. till bjälklagsplattor, väggskivor, tak, balkar och pelare. (Danielsson, 2017)

### 5.1 Nuvarande status för CLT i EC 5

CLT är inte inkluderat i den nu gällande Eurokod 5. Redaktionsarbeten pågår, så förhoppningsvis finns CLT med när nya eurokoderna publiceras. ”Det nya eurokoderna beräknas vara färdiga tidigast 2021 med en ny del av dimensioneringen av CLT” (KL-trähandbok, 2017). Det finns dock en europeisk standard som anger kraven på tillverkning och kvalitetssäkring för CLT (EN 16351 – Träkonstruktioner – Massivträ för byggsystem – krav). Det är ett lite besvärligt läge med Eurokoderna, men det finns som sagt handböcker som man kan ta hjälp av vid dimensionering av CLT T.ex. CLT handbook och KL-trähandbok. (KL-trähandbok, 2017)

## 5.2 Belastning vinkelrätt mot planet

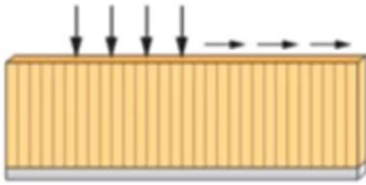
- Uppbyggnaden av styvhet i två riktningar gör att man kan ha belastning av olika varianter.
- Vid linjeupplag med två stöd utnyttjar man böjstyvheten i en riktning, alltså bär skivan i huvudsakligen i en riktning, se figur 27: 1.
- Vid linjeupplag i två riktningar kan man dela kraften i två riktningar, och får ett effektivare bärsystem där lasten fördelar sig jämnare, se figur 27: 2.
- Vid sedvanlig belastning vinkelrätt mot planet kan man använda sig av punktstöd t.ex. pelare. Då finns goda möjligheter att göra öppningar i elementet och överhäng åt olika håll, se figur 27: 3. & 4. (Danielsson, 2017)



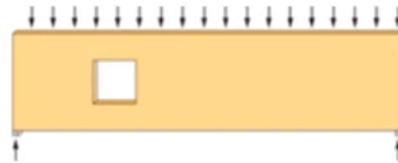
Figur 227. Belastning av olika varianter och olika upplag. (Svenskt Trä, 2017)

### 5.3 Belastning i planet

- Vid linjeupplag i planet kan man överföra horisontella laster såsom vind och vertikala laster ner till grunden, se figur 28.
- Vid punktupplag i planet kan man bära upp elementen mellan stöden som en balk, se figur 29.
- Det finns också möjligheter att göra öppningar för fönster eller dörrar i elementet vid både linje- och punktupplag.



Figur 28. Linjeupplag i planet.  
(Svenskt Trä, 2017)

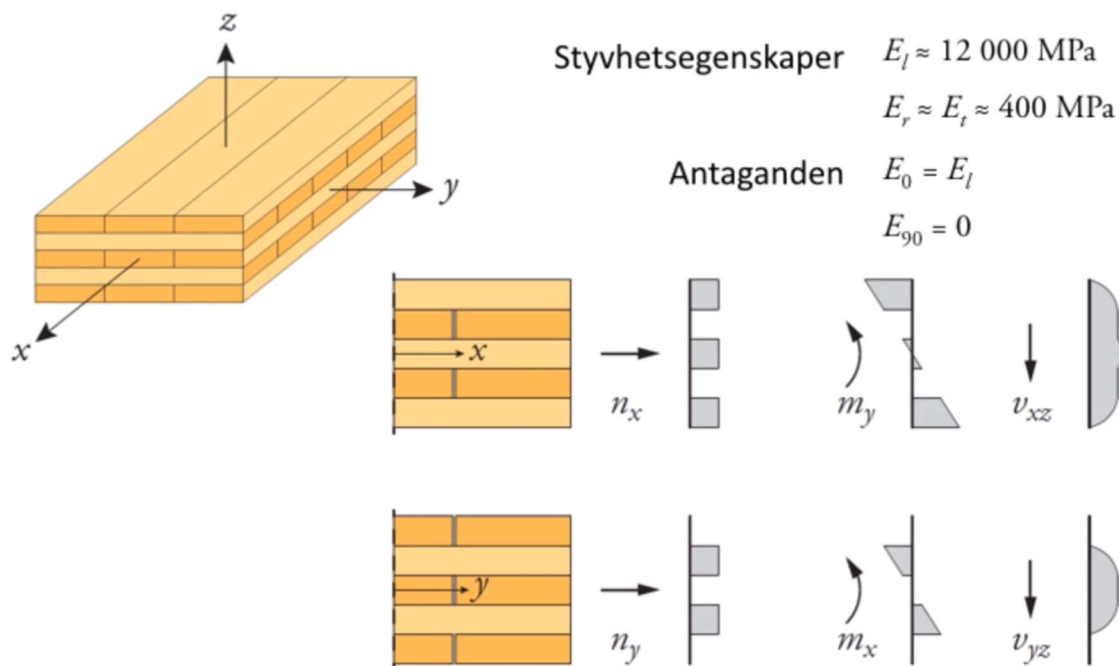


Figur 29. Punktupplag i planet.  
(Svenskt Trä, 2017)

### 5.4 Definitioner och verkningssätt

- X - axel definieras oftast som lamellerna i de yttersta sikten, vilket är huvudriktningen eller den styva riktningen. Kallas för längsgående lameller.
- Y - axeln definieras som den sekundära riktningen eller som tvärriktningen (veka riktningen). De kallas för tvärskikten eller tvärlager.
- Z - riktningen definieras vinkelrätt mot xy - planet och är längs med tjockleksriktningen
- Man antar att styvhet vinkelrätt mot fibrerna är 0,  $E_{90} = 0$ , för att det kan finnas färdiga sprickor eller glipor mellan lamellerna.
- Spänningsfördelningen i elementet blir olika vid olika former av belastning, så som normalkraft, böjmoment och skjuvspänning, se figur 30.

Vid normalkraft och böjmoment belastas enbart de längsgående fibrerna. Vid skjuvkraft blir det spänning över hela tvärsnittets höjd, alltså i både längsgående och tvärgående riktning. (Danielsson, 2017)



Figur 30. Spänningsfördelning i elementet vid olika former av belastning. (Svenskt Trä, 2017)

## 5.5 Rullskjuvning

Rullskjuvningsbrott kan förekomma i CLT, vilket betyder att träfibrerna glider eller rullar mellan varandra vid skjuvspänning tvärs fibrerna och det resulterar i större skjuvdeformationer och lägre tvärkraftbärförmåga. Brädor utan kantlimning eller spont och med bredd-tjockleksförhållande mindre än fyra betraktas vara benägna till rullskjuvningsbrott, därför har geometrin och tillverkningen en stor betydelse. (KL-trähandbok, 2017)

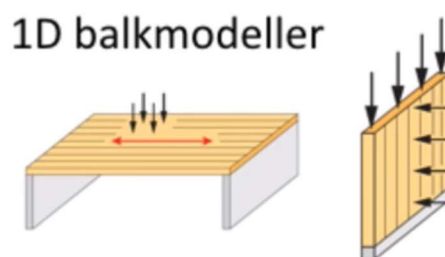
”Den låga hållfastheten och styvheten vid rullskjuvning måste beaktas” (Danielsson, 2017).



Figur 31. Tvärsnitt som är utsatt för tvärkraft belastning och skjuvspänning. (Svenskt Trä, 2017)

## 5.6 Beräkningsmodeller

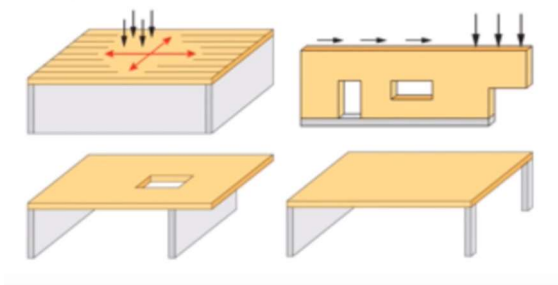
Man kan använda sig av flera olika beräkningsmodeller beroende på hur komplicerade lastfall man har. I så kallade rena belastningsfall så som en bjälklagsplatta där man har last i bara en riktning, eller en väggskiva som är utsatt för vertikallast med kombination med en vindlast kan man använda sig av relativt enkla balkmodeller, se figur 32, för att dimensionera dem. För balkmodeller finns ett antal olika förslag för att dimensionera dem och ta hänsyn till rullskjuvdeformationerna som uppstår i tvärsikten. Man kan använda sig av gamma-metoden eller Timoshenkoteorin i beräkning av balkmodeller. (Danielsson, 2017)



Figur 32. Balkmodeller med rena belastningsfall. (Svenskt Trä, 2017)

Om det är mer komplicerade upplagsförhållanden eller last i flera riktningar kan det vara användbart att använda 2D-element såsom platt-, skiv-, och skalmodeller, se figur 33, eller 3D-modellering avsett till planering och dimensioneringen. Det finns olika beräkningsmodeller för platt-, skiv-, och skalmodeller. (Danielsson, 2017)

## 2D platt/skiv/skal-modeller



Figur 33. Platt/skiv/skal-modeller. (Svenskt Trä, 2017)

### 5.7 Gamma-metod

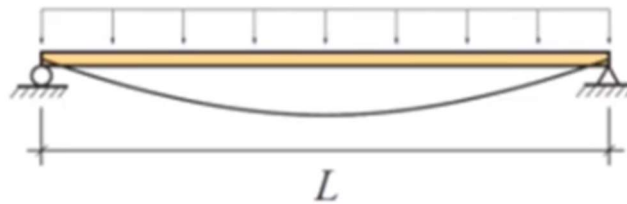
- Gamma-metoden går ut på att man betraktar deformationer från tvärkrafter på ett förenklat sätt.
- Vid ren böjning: Böjstyvheten beräknas med nettotvärsnittet och betecknas  $EI_{net}$ .
- Vid Gamma-metoden: Ett effektivt tröghetsmoment,  $I_{ef}$ , införs i beräkningen. Se ekvation (5).
- I Gamma-metoden används formlerna i Eurokod 5, och de kan användas för tvärsnitt med 3- och 5-skiktsskivor. Utgångspunkten i båda fallen är att det andra längsgående skiktet från ovansidan fastställs som bas.
- De intilliggande skikten är flexibelt kopplade till basskiktet. ”Steinerdelen” för respektive skikt minskas med ett Gamma-värde. Gamma-värdet beror på de tvärgående skikten och på spännvidden, se figur 34.
- Gamma-metoden används enkelt för 3- och 5-skiktsskivor men för skivor med 7 skikt eller flera krävs fördjupade beräkningar.

Tvärsnittsvärdena påverkas av skivans längd eller spännvidd,  $L_{ref}$ , benämns därför som en referenslängd som beror på balkens längd och upplagsförhållanden:

Referenslängd (spännvidd):

- Fritt upplagd, ett spann:  $L_{ref} = L$  (1)
- Fritt upplagd, kontinuerlig,  $\geq$  två spann:  $L_{ref} = 0.8 \times L_{min}$  (2)
- Konsolbalk med överhäng:  $L_{ref} = 2 \times L$  (3)



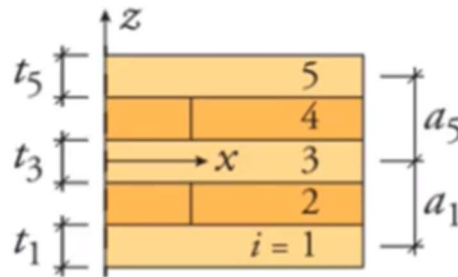


Figur 234. Referenslängd (spännvidd). (Svenskt Trä, 2017)

$$\text{Reduktion av Steiner-andel} = \gamma_i < 1.0 \quad (4)$$

Den effektiva böjstyvheten (effektiva tröghetsmoment, se bilaga 1: 2.1):

$$I_{ef} = \sum \left( \frac{bt_i^3}{12} + \gamma_i + bt_i \times a_i^2 \right) \quad i = 1, 3, 5 \quad (5)$$



Figur 35. Skärning av CLT-elementet (Svenskt Trä, 2017)

Gamma-faktorn påverkas av tjockleken på tvärgående skikt och rullskjuvstyvheten och längden på skivan (se bilaga 1: 2.1).

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_0 t_1 \times t_2}{L_{ref}^2 \times G_R}} \quad (6)$$

$$\gamma_3 = 1.0 \quad (7)$$

$$\gamma_5 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_0 t_5 \times t_4}{L_{ref}^2 \times G_R}} \quad (8)$$

För symmetriska tvärsnitt ( $t_1 = t_3 = t_5$ ) och samma hållfasthetsklass sätts  $\gamma_1 = \gamma_5$

Exempel på nedböjning enligt Gamma-metoden (se bilaga 1: 5.0 & bilaga 2: 6.0):

- 5kN centrisk punktlast, L=6m:  $w_{5kN} = \frac{PL^3}{48 \times E_0 \times I_{x,ef}}$  (9)

- 3 kN/m linjelast, L=6m:  $w_{3kN/m} = \frac{5 \times qL^4}{384 \times E_0 \times I_{x,ef}}$  (10)

Kort sagt är Gamma-metoden en ungefärlig metod som används för att beakta skjuveftergivligheten i tvärsnittet. Det positiva med metoden är att man kan beräkna nedböjning enligt den traditionella Bernoulli-Euler balkteorin. Man behöver inte direkt beakta skjuvdeformationen utan den kommer automatiskt i och med gamma-faktorn. Men nackdelen är att spännvidden påverkar böjstyvheten. (Danielsson, 2017)

Alla formler och metodbeskrivningar i det här kapitlet har hämtats ur KL-trähandboken, kapitel 3.3.4.

## 5.8 Timoshenkoteori

Med Timoshenkoteorin betraktar man CLT-skivan som en kompositbalk, alltså man beaktar skjuveftergivlighet i tvärlagren.

Exempel på nedböjning enligt Timoshenkoteorin:

- 5kN centrisk punktlast, L=6m:  $w_{5kN} = \frac{PL^3}{48 \times E_0 \times I_{x,net}} + \frac{P \times L}{4 \times GA_s}$  (11)

- 3 kN/m linjelast, L=6m:  $w_{3kN/m} = \frac{5 \times qL^4}{384 \times E_0 \times I_{x,net}} + \frac{qL^2}{8 \times GA_s}$  (12)

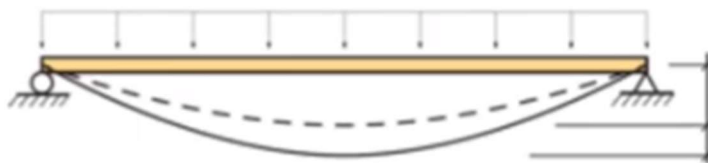
Böjstyvhet (Tröghetsmoment för nettotvärsnitt):

$$I_{net} = \sum \left( \frac{bt_i^3}{12} + bt_i \times a_i^2 \right) \quad i = 1,3,5 \text{ se figur 35.} \quad (13)$$

Skjuvstyvhet:

$$GA_s = \kappa \sum G_i b_i t_i \quad \text{där } \kappa \text{ är en skjuvkorrektionsfaktor.} \quad (14)$$

Fördelen med Timoshenkoteorin är att man får skjuv- och böjstyvhet som verkliga tvärsnittstorheter, de påverkas inte av bjälklagets spännvidd till exempel. Nackdelen är att beräkningarna blir mer komplicerade, för man måste beräkna skjuvdeformationerna. (Danielsson, 2017)



Figur 36. Bidrag från böjdeformationen och skjuvdeformationen. (Svenskt Trä, 2017)

## 5.9 Dimensionering – brottgränstillstånd

Dimensionering i brottgränstillstånd kräver att konstruktionen håller ihop och har säkerhet mot brott så länge den används på det vis den är menad att användas. Denna säkerhet fastställs i landets gällande byggnormer. Risken för att man ska uppnå ett brott i konstruktionen beror oftast på osäkerheter i förutsättningarna d.v.s. sannolikheten för att laster överskrider eller att beräknad bärförmåga underskrider. (KL-trähandbok, 2017)

Vid dimensionering i brottgränstillstånd bör den dimensionerade lasteffekten vara mindre än den dimensionerande bärförmågan ( $E_d \leq R_d$ ). Detta kan man göra på olika sätt, man kan verifiera bärförmågan på tvärsnittsnivån ( $m_{y,E,d} \leq m_{y,R,d}$ ) eller på materialpunktsnivå ( $\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,xslay,d}$ ). (Danielsson, 2017)

### 5.9.1 Dimensionerande hållfasthet

I brottgränstillstånd bestäms den dimensionerande bärförmågan utifrån ett dimensionerande hållfasthetsvärde. Genom att modifiera det karakteristiska värdet  $f_k$  med  $k_{mod}$ , se figur 37, beroende på lastvaraktighets- och klimatklass och med partialkoefficienten  $\gamma_M$ , se figur 38, för osäkerhet i materialet, beräknas det dimensionerande hållfasthetsvärdet: (KL-trähandbok, 2017)

$$f_d = \frac{k_{mod} \times f_k}{\gamma_M} \quad (15)$$

Land	$\gamma_M$
Sverige	1,25
Norge	1,15
Österrike	1,25
Tyskland	1,3

**Bild 3724. Exempel på  $\gamma_M$  i olika länder. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)**

Klimatklass	Lastvaraktighetsklass				
	Permanent (P)	Långtid (L)	Medellång (M)	Korttid (S)	Momentan (I)
1	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
2	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
3	–	–	–	–	–

**Bild 258. Värden på  $k_{mod}$  i Sverige. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)**

I vissa fall kan man tillgodoräkna sig en systemeffektsfaktor,  $k_{sys}$ . I CLT blandas oftast brädor med olika hållfasthet och risken för att de svagaste tvärsnitten ska sammanfalla i samma riktning och skikt är liten. Detta kallas oftast för systemeffekten. I olika dokument och handböcker kan man hitta olika värden för  $k_{sys}$ , från 0,9 – 1,2. Faktorn kan användas om flera parallella brädor bär samma last. I det fallet kan man tillräkna sig en något högre hållfasthet. Om man inte känner till antalet brädor i ett bestämt tvärsnitt, kan  $k_{sys}$  bestämmas enligt (se bilaga 1: 3.0):

$$k_{sys} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,15 \\ 1 + 0,1 \times b \end{array} \right\} \quad (16)$$

där  $b$  är tvärsnittets medverkande bredd i meter.

$$f_d = k_{sys} \times k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (17)$$

(KL-trähandbok, 2017)

## 5.9.2 Belastning vinkelrätt mot planet – Böjmoment

Vid ett lastfall som bär i både styva och veka riktningen på en bjälklagsplatta som är firsidigt upplagd, uppstår moment både i x- och y-axeln, se figur 39. Man ska se till att den

dimensionerande böjspänningen,  $\sigma_{m,d}$  inte överskrider den dimensionerande böjhållfastheten  $f_{m,d}$  (se bilaga 2: 3.0).

För en CLT-skiva eller platta som påverkas av böjmoment gäller ekvation:

$$\sigma_{m,d} = \frac{m_d}{W_{net}} \leq f_{m,d} = k_{sys} k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (18)$$

där:

$m_d$  är dimensionerande moment.

$f_{m,d}$  är dimensionerande böjhållfasthet.

$f_{m,k}$  är karakteristisk böjhållfasthet.

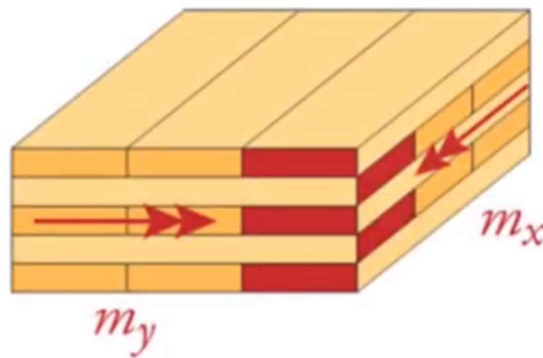
$$W_{net} = \frac{I_{net}}{h/2} \quad [m^3/m] \text{ är skivans nettoböjmotstånd.} \quad (19)$$

$$I_{net} = \sum \left( \frac{t_i^3}{12} + t_i a_i^2 \right) \quad [m^4/m] \text{ är nettotröghetsmoment.} \quad (20)$$



Figur 269. Moment i x- och y-axeln. (Svenskt Trä, 2017)

Böjning kring x- och y-axeln ger normalspänningar i olika riktningar och i olika skikt. Därmed kan man kontrollera bärförmågan separat dimensionsmässigt för de två olika riktningarna, se figur 40. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017) (Danielsson, 2017)



Figur 40. Normalspänningar i olika riktningar och skikt. (Svenskt Trä, 2017)

### 5.9.3 Belastning vinkelrätt mot planet – Tvärkraft

Tvärkraft uppstår även när man har belastning vinkelrätt mot planet. Tvärkraft skiljer sig från böjmoment och normalkraft genom att man måste ta i beaktande att man får skjuvspänning över hela tvärsnittets höjd, se figur 41 & 42. I den styva riktningen förekommer längsskjuvning och i den veika riktningen rullskjuvning. I dimensioneringen av tvärkraften måste man ta hänsyn både till rullskjuvning och till längsskjuvning. Den största skjuvspänningen är ofta längsskjuvning, och även om rullskjuvhållfastheten är betydligt lägre än längsskjuvhållfastheten så måste man beakta båda fallen. (Danielsson, 2017)

Den dimensionerande skjuvspänningen räknas med formeln (se bilaga 1: 4.0 & bilaga 2: 5.0):

$$\tau_d = \frac{v_d S_{net}}{I_{net}} \leq \begin{cases} f_{v,R,d} & \text{Rullskjuvning} \\ f_{v,d} & \text{Längsskjuvning} \end{cases} \quad (21)$$

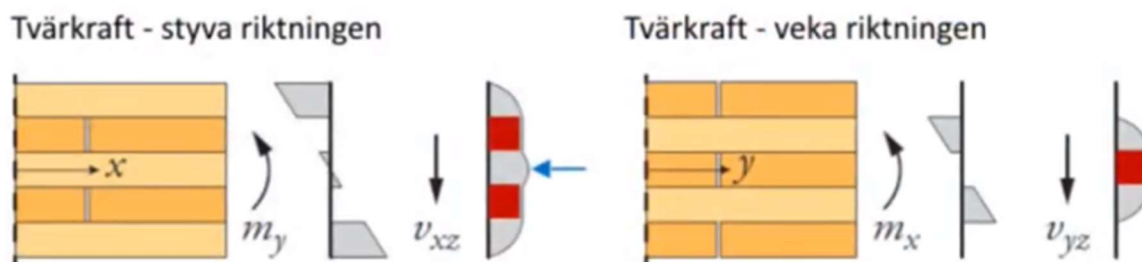
där:

$v_d$  är dimensionerande tvärkraft

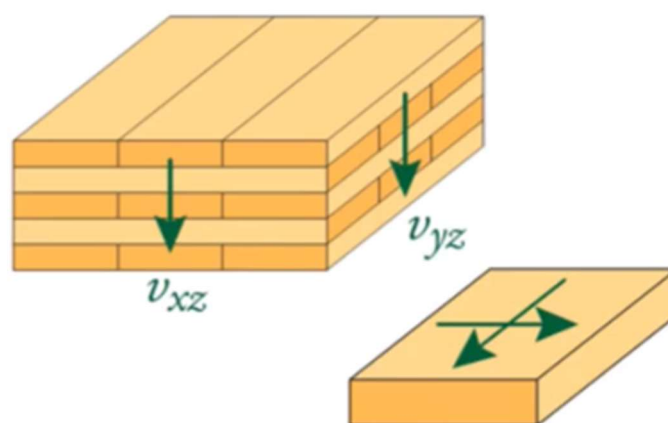
$S_{net}$  är skivans nettostatiska moment [ $m^3/m$ ]

$I_{net}$  är nettotröghetsmoment [ $m^4/m$ ]

(Svenskt Trä, 2017) (Danielsson, H. 2017)



Figur 41. Skjuvspänning i x- och y-led. (Svenskt Trä, 2017)



Figur 42. Tvärkrafter  $v_{xz}$  och  $v_{yz}$  ger skjuvspänningar i olika riktningar men i samma plan och i samma skikt. Detta är samverkningarna av längsskjuvning och rullskjuvning. (Svenskt Trä, 2017)

#### 5.9.4 Belastning i planet – Normalkraft

Vid normalkraft belastas enbart de längsgående fibrerna, såsom i böjmomentet. Alltså att styva och veka riktningen inte har någon påverkan på varandra vid belastning, så x- och y-led kan räknas ut skilt, se figur 43 & 44. Bärförmågan bestäms av hur stor nettoarea ( $A_{net}$ ) man har i de två olika riktningarna (x- och y-led). Nettoarean är olika i den styva och den veka riktningen, så man räknar tillgodo arean av de skikten som har fibrerna längs med kraftens riktning. (Danielsson, 2017)

Normalkraft i x-riktning:

$$n_{x,E,d} \leq n_{x,R,d} \quad (22)$$

där:

$n_{x,E,d}$  är dimensionerande normalkraft [ $kN/m$ ]

$n_{x,R,d}$  är dimensionerande bärförmåga för normalkraft [ $kN/m$ ] och beräknas:

$$n_{x,R,d} = A_{x,net} \times f_{t,xlay,d} \text{ för dragspänning} \quad (23)$$

$$n_{x,R,d} = A_{x,net} \times f_{c,xlay,d} \text{ för tryckspänning} \quad (24)$$

$$A_{x,net} = b_x \times b_x \text{ för nettoarea i x-riktning} \quad (25)$$

Normalkraft i y-riktning:

$$n_{y,E,d} \leq n_{y,R,d} \quad (26)$$

där:

$n_{y,E,d}$  är dimensionerande normalkraft [ $kN/m$ ]

$n_{y,R,d}$  är dimensionerande bärförmåga för normalkraft [ $kN/m$ ] och beräknas:

$$n_{y,R,d} = A_{y,net} \times f_{t,ylay,d} \text{ för dragspänning} \quad (27)$$

$$n_{y,R,d} = A_{y,net} \times f_{c,ylay,d} \text{ för tryckspänning} \quad (28)$$

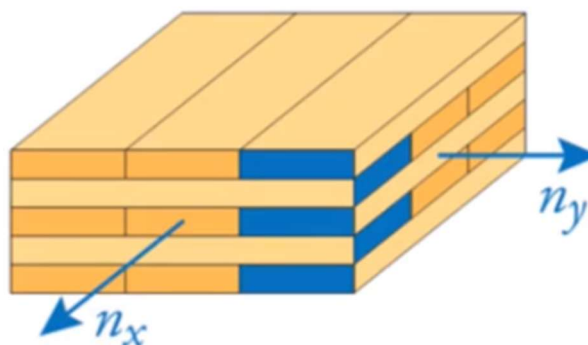
$$A_{y,net} = b_y \times b_y \text{ för nettoarea i y-riktning} \quad (29)$$

(KL-trähandbok, 2017)





Figur 273. Normalkraft i x- och y-led. (Svenskt Trä, 2017)



Figur 44. Styva och veka riktningen har ingen påverkan på varandra vid belastning. (Svenskt Trä, 2017)

### 5.9.5 Belastning i planet – Skjuvning

I stabiliserande konstruktioner används oftast CLT-skivor. Eftersom CLT-skivan kan ta last i flera riktningar, bör hållfastheten kontrolleras med avseende på hela skivans nettotvärsnitt, panelskjuvning och i alla de ingående skikten, s.k. skiktsskjuvning. Man måste även ta hänsyn till om bräderna är limmade i kanterna och om det finns sprickor i fiberriktningen. Skjuvhållfastheten beror på kantlimningen och sprickbildningen i CLT-skivan.

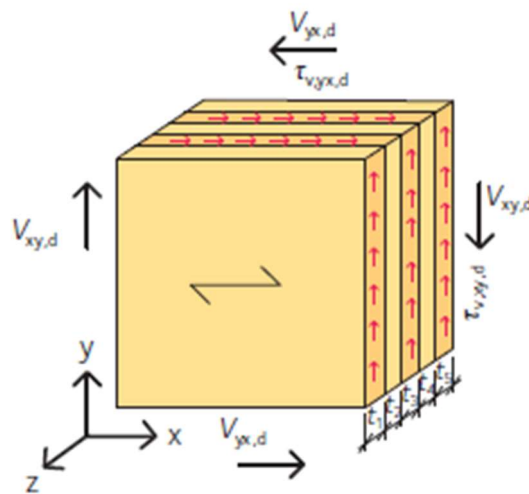
Vid kontroll av hela CLT-skivan, för panelskjuvning för  $V_{xy}$  och  $V_{yx}$ , se figur 45, gäller ekvationen:

$$\tau_{v,xy,d} = \frac{V_{xy,d}}{A_{x,net}} \leq f_{v,090,xlay,d} = k_{mod} \frac{f_{v,090,xlay,k}}{\gamma_M} \quad (30)$$

där:

$V_{xy,d}$  är dimensionerande tvärkraft.

- $A_{x,net}$  är skivans verksamma area.
- $f_{v,090,xlay,d}$  är dimensionerande längsskjuvhållfasthet.
- $f_{v,090,xlay,k}$  är karakteristisk längsskjuvhållfasthet.
- $k_{mod}$  är en modifieringsfaktor.
- $\gamma_M$  är partialkoefficienten för materialet.



Figur 285. Skjuvspänningar i förhållande till skiktjocklek. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

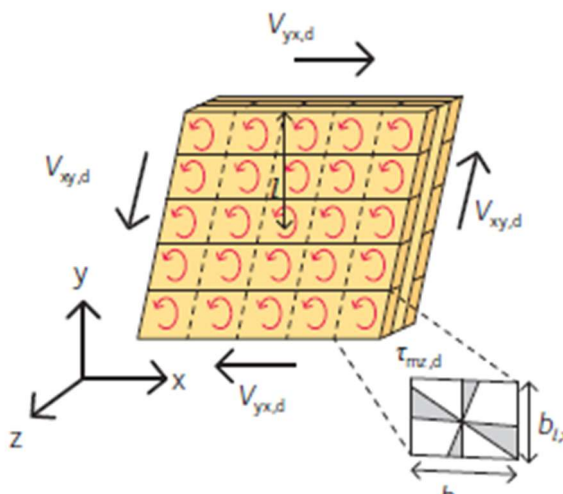
Skiktsskjuvning, alltså skjuvning mellan de olika skikten, se figur 46, för en CLT-skiva bestäms genom hållfastheten genom limfogarna mellan längsgående och tvärgående brädor. Skiktsskjuvspänningen skrivs enligt ekvation:

$$\tau_{mz,d} = \frac{M_{t,d}}{n_t \times W_p} \leq f_{mz,9090,d} = k_{mod} \frac{f_{mz,9090,k}}{\gamma_M} \quad (31)$$

där:

- $M_{t,d}$  är dimensionerande moment.
- $W_p$  är skivans polära tröghetsmoment.
- $n_t$  är antalet limmade ytor i skivan.
- $f_{mz,9090,d}$  är dimensionerande skjuvhållfasthet.

$f_{mz,90,0,k}$  är karakteristisk skjuvhållfasthet.



Figur 296. Skiktskjuvning. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

(KL-trähandbok, 2017)

### 5.9.6 Tryck vinkelrätt mot planet

CLT har den fördelen att det har stor styvhet för böjning i två riktningar, men det finns ett belastningsfall där vi bara belastar fibrerna vinkelrätt mot planet, och det är tryck vinkelrätt mot planet, se figur 47. Det kan bli ett problem om vi har flervåningsbyggnader där bjälklagselementet sticks in mellan de underliggande och ovanliggande våningarnas väggar eller om man använder sig av punktupplag i form av pelare, där det kan bli stora tryckspänningar vinkelrätt mot fiberriktningen. När man räknar den dimensionerande tryckspänningen och kontrollerar bärförmågan, finns det två saker man tar hänsyn till, den effektiva kontaktarean  $A_{ef}$  vilken är lite större än den verkliga kontaktarean, samt att man vanligtvis kan räkna med en förhöjningsfaktor  $k_{c,90}$  (1.0 - 2.0) i hållfasthetsvärdena. Båda två beror på var upplaget är placerat i förhållande till skivans kanter och hur den ligger i förhållande till orienteringen av lamellerna, se figur 48. (Danielsson, 2017) (KL-trähandbok, 2017)

För en CLT-skiva som påverkas av tryck vinkelrätt mot dess plan gäller ekvation:

$$\sigma_{c,z,d} = \frac{F_{c,z,d}}{A_{ef}} \leq f_{c,90,0lay,d} = k_{c,90} \times k_{mod} \frac{f_{c,90,0lay,k}}{\gamma_M} \quad (32)$$

där:

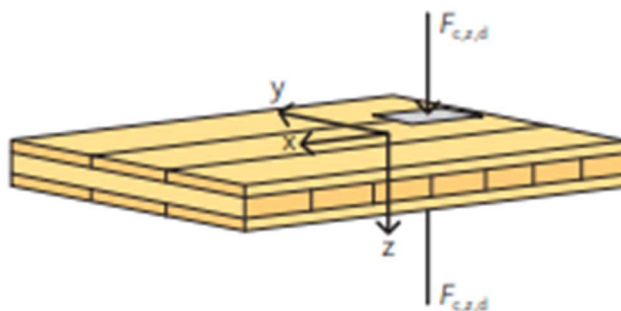
$F_{c,z,d}$  är dimensionerande tryckkraft vinkelrätt mot fiberriktningen.

$A_{ef}$  är effektiva kontaktarean vid tryck vinkelrätt mot fiberriktningen.

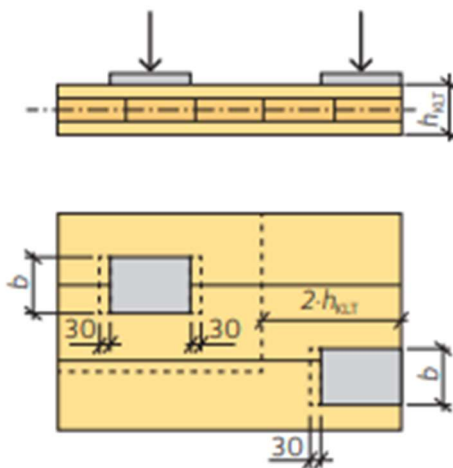
$k_{c,90}$  är en faktor som tar hänsyn till hur laster angriper samt graden av sammantryckning.

$f_{c,90,xlay,d}$  är dimensionerande tryckhållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen.

$f_{c,90,xlay,k}$  är karakteristisk tryckhållfasthet vinkelrätt mot fiberriktningen.



Figur 307. Tryck vinkelrätt mot planet. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)



Figur 318. Placering och förhållanden till skivans kanter. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

Arbetet pågår för att fastställa värdet på  $k_{c,90}$ . Genom olika prövningar har man i nuläget konstaterat att för  $k_{c,90}$  kan man tillämpa tabell 1.

Tabell 1.  $k_{c,90}$  värdet,  $A$  i  $mm^2$  och  $b$  i  $mm$  (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

Läge	Riktning	Kontaktyta, $A_{ef}$	$k_{c,90}$
Centralt	–	$A_{ef} = A_{tryck} + (30 + 30)b$	1,9
Vid kant	Parallellt med fibrerna	$A_{ef} = A_{tryck} + (30 + 30)b$	1,0 – 1,5
	Vinkelrätt mot fibrerna	$A_{ef} = A_{tryck} + 30b$	1,5
Vid hörn	–	$A_{ef} = A_{tryck} + 30b$	1,3

### Kontroll av tryckspänning i CLT-skivans plan då risk för knäckning inte förekommer

För en CLT-skiva som är utsatt för tryck parallellt med ytskiktet, se figur 49, räknas med ekvation:

$$\sigma_{c,x,d} = \frac{F_{c,x,d}}{A_{x,net}} \leq f_{c,0,xlay,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,xlay,k}}{\gamma_M} \quad (33)$$

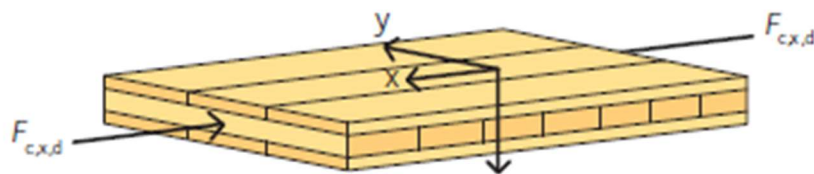
där:

$A_{x,net}$  är tvärsnittets verksamma nettoarea i x-riktning.

$F_{c,x,d}$  är dimensionerande tryckkraft i x-riktningen.

$f_{c,0,xlay,d}$  är brädors dimensionerande tryckhållfasthet i x-riktning.

$f_{c,0,xlay,k}$  är brädors karakteristisk tryckhållfasthet i x-riktning.



Figur 49. Tryck parallellt med ytskiktet. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

För en CLT-skiva som är utsatt för tryck vinkelrätt mot ytskiktet, se figur 50, används ekvationen:

$$\sigma_{c,y,d} = \frac{F_{c,y,d}}{A_{y,net}} \leq f_{c,0,ylay,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,ylay,k}}{\gamma_M} \quad (34)$$

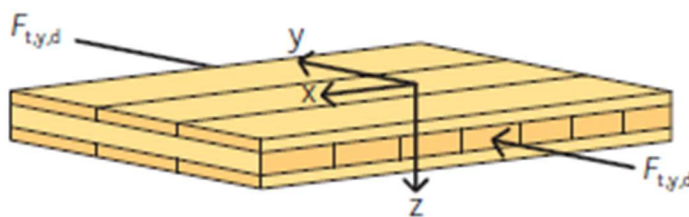
där:

$A_{y,net}$  är tvärsnittets verksamma nettoarea i x-riktning.

$F_{c,y,d}$  är dimensionerande tryckkraft i x-riktningen.

$f_{c,0,ylay,d}$  är brädornas dimensionerande tryckhållfasthet i x-riktning.

$f_{c,0,ylay,k}$  är brädornas karakteristiska tryckhållfasthet i x-riktning.



Figur 50. Tryck vinkelrätt mot ytskiktet. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)

(KL-trähandbok, 2017)

### 5.9.7 Tryck och böjning – Knäckning

För en väggskiva av CLT är typiska fall att det förekommer tryck och böjning som kan leda till knäckning. Exempelvis en tryckande lodrät last från ovanliggande våningsplan eller en horisontell last såsom vindlast, se figur 51 & 52. Dimensioneringen kan utföras i princip på samma sätt som pelarknäckning av limträpelare. Den behövliga hållfastheten kan bestämmas enligt Eurokod 5. I Eurokod 5 dimensioneras pelare med hjälp av linjär knäckningsteori. I dimensioneringen tar man i beaktande en hållfasthetsrelaterad reduktionsfaktor,  $k_c$ , då man beaktar de icke-linjära effekterna och andra ordningens teorier. Det finns i princip två olika lastfall som kan förekomma vid kontroll av knäckning av pelare och väggskivor av CLT.

Trycklast i x-led och transversallast i z-led. Om dessa lastfall kombineras ska uttrycket enligt ekvation (35) och (36) uppfyllas (se bilaga 1: 3.0):

$$\frac{\sigma_{c,x,d}}{k_{c,y} \times f_{c,oxlay,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,xlay,d}} \leq 1 \quad (35)$$

$$\frac{N_d}{k_{c,y} \times A_{net} \times f_{c,oxlay,d}} + \frac{M_{y,d}}{W_{x,net} \times f_{m,xlay,d}} \leq 1 \quad (36)$$

där:

$$M_{y,d} = \frac{q_d \times l_e^2}{8} \quad (37)$$

Uttrycket för reduktionsfaktorn  $k_{c,y}$  kan räknas enligt ekvation (38):

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1 \quad (38)$$

där:

$$k_y = 0,5(1 + 0,1(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (39)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,oxlay,k}}{E_{0,x,05}}} \quad (40)$$

är relativ slankhetsfaktor för knäckning kring y-led.

$$\lambda_y = \frac{L}{i_{x,ef}} \quad \text{är slankhetsfaktorn.} \quad (41)$$

där:

$$i_{x,ef} \quad \text{är effektiv tröghetsradie.}$$

$$L = \beta_c \times l_e \quad \text{är knäcklängden där } \beta_c \text{ antar värdet } 0,1. \quad (42)$$

$$E_{0,x,05} = k \times E_{0,x,mean} \quad (43)$$

är elasticitetsmodulens 5-procentsfraktil för CLT-skiva i x-led

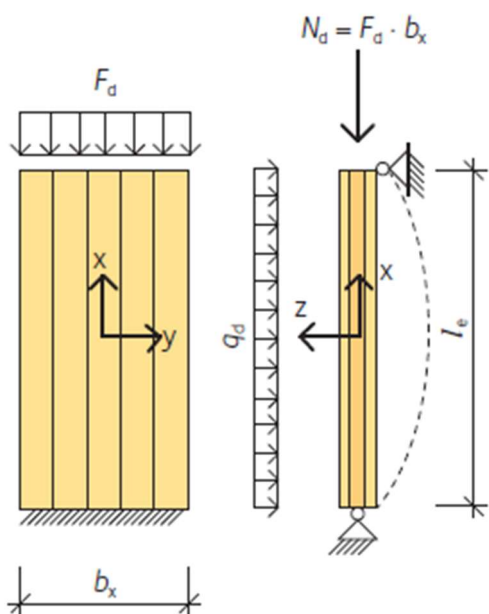
$$k = 1 - \frac{0,328}{\sqrt{\frac{2 \times b_x}{0,15} - 1}} \quad (44)$$

med  $b_x$  i meter och enligt *bild 52*.

Om  $\lambda_{rel,y} < 0,3$  är risken för knäckning nästan obefintlig, då ska man bekräfta följande sammanhang:

$$\left(\frac{\sigma_{c,x,d}}{f_{c,0,xlay,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,xlay,d}} \leq 1 \quad (45)$$

(KL-trähandbok, 2017)



**Figur 51.** CLT väggskiva som är utsatt för tvärgående last samt tryckkraft och risk för knäckning. (Svenskt Träs KL-trähandbok, 2017)



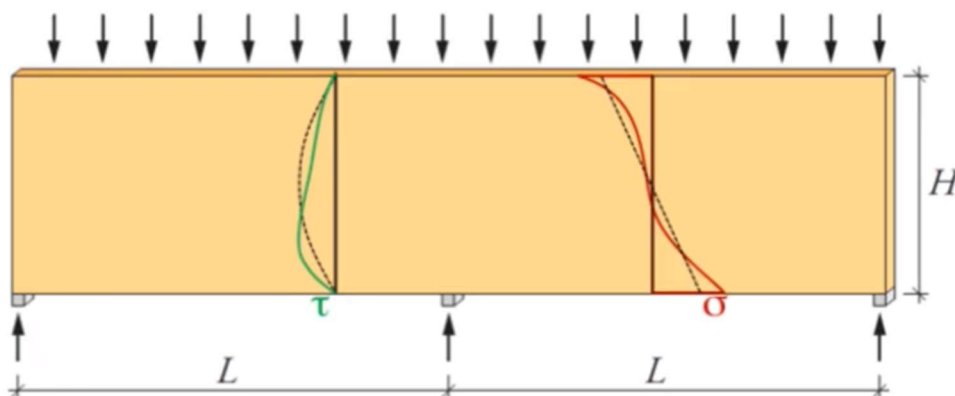
**Figur 52.** Tryck- & böjningspänningsfördelning. (Svenskt Trä, 2017)

### 5.9.8 Belastning i planet – Väggskiva/balk med punktupplag

Ett annat belastningsfall skulle kunna vara en väggskiva eller balk med punktupplag, se figur 53, detta skulle kunna vara en våningshög balk som är 2,5m - 3m hög eller en lägre balk över öppningar, dörrar eller fönster. Detta kan man räkna med vanlig balkteori och få den linjärt varierande normalspänningsfördelningen. Men om man har relativt korta balkar, alltså hög höjd i förhållande till spännvidden, så bör man beakta att man får en olinjär normalspänningsfördelning över tvärsnittets höjd. Man får alltså något högre max-värden för normalspänning. Detta är en sak som bör beaktas, man kan alltså beräkna delvis om man har relativt stor spännvidd jämfört med höjden, då kan man använda sig av vanlig balk-teori.



Men om vi får en kortare spännvidd jämfört med höjden bör vi göra en noggrannare beräkning, eller på något sätt beakta att man får högre normalspänningar vid under- och ovsidan av balken. Förhållande spännvidd-balkhöjd bör vara  $L/H \leq 4$ .



Figur 53. Väggskiva med punktupplag. (Svenskt Trä, 2017)

Vid upplag får man lokalt stora tryckpåkänningar vinkelrätt balkens längdriktning. Vid balkar med hål eller urtag får man dragpåkänning vinkelrätt balkens längdriktning. Böjmomentet kan tas upp av normalspänning parallellt med fibrerna i de longitudinella skikten och de transversella skikten kan hantera tryck och drag parallellt med fibrerna som fungerar som en inre förstärkning. (Danielsson, 2017)

## 5.10 Dimensionering – Brukgränstillstånd

Brukgränstillstånd betyder att man beaktar konstruktionens kvalitet med hänsyn till att det ska vara behagligt att använda den.

När man dimensionerar i brukgränstillstånd måste man säkerställa att byggnadens funktion fungerar och att det inte blir obehagliga formändringar, vridningar eller vibrationer och kontrollera nedböjningen i den. Man måste säkerställa att konstruktionerna är tillräckligt styva för att undvika obehagligheterna. När det kommer till styvheten av CLT-element måste man ta i beaktande flera faktorer som till exempel, materialens temperatur och fuktkvot och varaktigheten av lasten. När man dimensionerar för de olika deformationerna anpassar man styvhetsvärdena i beaktande till klimatklassen. (Svenskt Trä, 2017)

### 5.10.1 Några speciella egenskaper för CLT

Här nämns några speciella egenskaper för CLT i relation till dimensionering i bruksgränstillståndet.

- Man måste beakta rullskjuvning i den veka riktningen t.ex. i beräkning av nedböjning.
- CLT krymper mera än limträ och sågvirke => högre  $k_{def}$  värde för CLT

(Svenskt Trä, 2017)

### 5.10.2 Svikt och vibrationer

När man dimensionerar i bruksgränstillståndet måste man ta hänsyn till svikt och vibrationer som förorsakas av de dynamiska effekterna som uppkommer i vardagligbruk och som påverkar konstruktionens kvalitet. Faktorer som påverkar funktionen är spännvidden, styvheten, massan, fördelning av last och upplagen. CLT har fördelen att den kan överföra laster i båda riktningarna, så att lastfördelningen blir jämnare vilket leder till bättre dämpning av vibrationer.

Frekvensavstämning är en metod där man beaktar vibrationer, metoden kan sammanfattas med att konstruktionens lägsta egenfrekvens är högre än exciteringsfrekvensen. Man antar att lägsta egenfrekvensen ska vara större än  $8H_z$  (se bilaga 2: 7.3). Man kan påverka den genom att minska på spännvidden, minska på massan eller att öka på styvheten i konstruktionen. (Svenskt Trä, 2017)

## 6 Sammanfattning

Ifall man vill ha ett hus som skiljer sig från det normala lösvirkesbyggandet och med en snabb montering, rekommenderar jag varmt ett CLT-hus. Med en bra planering och med CLT:s goda hållfasthet finns möjligheter till nästan vilket byggprojekt som helst.

Som konstruktionsmaterial ser jag inte alls några dåliga aspekter hos CLT, det andas och kan anpassa sig efter fukthalten. Det är ett naturligt och förnybart material vilket kommer att vara en viktig fråga i framtiden. Tack vare CLT:s massiva uppbyggnad har det utmärkta byggtekniska egenskaper, vilket ger flera olika möjligheter vid planeringen. Ett bra planerat CLT-hus går snabbt och enkelt att montera. Det positiva med CLT är att man får konstruktionerna listfria med färdiga innerytor, vilket ser stilrent ut utan onödiga arbetstimmar, och ger en varm och hemtrevlig känsla.

Om man väljer att bygga av CLT, lönar det sig att lägga mycket tid på planeringen. Planeringen av CLT har en större betydelse jämfört med trähusbyggande av lösvirke, för att få elementen smidigt och enkelt monterade utan fördröjningar. Det lönar sig att använda sig av en planerare som har tidigare erfarenhet av CLT, för CLT är ett så pass nytt byggnadsmaterial på marknaden i Finland. Tillverkningen av elementen måste vara gjorda med millimeters noggrannhet för att undvika måttavvikelser.

Det lönar sig som helhet att hålla planeringen enkel och använda sig av standardlösningar som finns inom träbyggande för att uppnå ett effektivt montage och en fungerande konstruktion.

När det kommer till dimensioneringen av CLT är man tvungen att göra lite mer komplicerade beräkningar än vid vanlig dimensionering av träkonstruktioner. CLT har en relativt god styvhet och bärförmåga för böjning i två riktningar, både belastning vinkelrätt mot planet och för belastning i planet. Tack vare korslimningen av bräder kan CLT-skivan fördela lasten i två olika riktningar, vilket ger ett effektivare bärsystem där lasten fördelar sig jämnare. Detta gör att elementen är mångsidiga och kan användas på många olika sätt, t.ex. till bjälklagsplattor med hål eller överhängen, väggskivor med öppningar, tak, balkar och pelare. Spänningsfördelningen i CLT-skivan blir olika vid olika former av belastning vilket betyder att man måste noggrant iaktta om spänningsfördelningen belastar enbart lamellerna som går

åt samma riktning eller om den påverkar hela tvärsnittet. CLT har många speciella egenskaper som måste tas i beaktande vid dimensioneringen, till exempel rullskjuvning.

Sammanfattat ger CLT fler olika möjligheter inom planering och dimensionering än vid användningen av andra byggmetoder.

## Källförteckning

Danielsson, H. [SvensktTra]. (2017, Maj 31). Dimensionering av KL-träkonstruktioner [Video fil]. Hämtat från <https://www.youtube.com/watch?v=8Wwbn-hjyFk>

Jord- och skogsbruksministeriet – Finlands skogstillstånd [Online] <https://mmm.fi/sv/skogar/skogsbruk/finlands-skogstillgangar> [Hämtat 28.01.2020]

Puuinfo – Monikerroslevy (CLT) [Online] <https://www.puuinfo.fi/puutieto/insinooripuutuotteet/monikerroslevy> [Hämtat 28.01.2020]

Rautiainen, E., (2018). *CLT-käyttöopas pienrakentajille ja suunnittelijoille*. Opinnäytetyö, Kajaanin ammattikorkeakoulu, Kajaani. Hämtad från [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/145780/Rautiainen\\_Esa.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/145780/Rautiainen_Esa.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Stora Enso Wood Products GmbH (2017). *Stora Enso CLT Teknisk Broschyr*.

Stora Enso CLT – Puu – maailman vanhin ja myös modernein rakennusmateriaali [Online] <https://www.puuinfo.fi/sites/default/files/CLT%20image%20brochure%20FI.pdf> [Hämtat 28.01.2020]

Svenskt Trä. (2017) KL-trähandbok. Dimensionering av KL-träkonstruktioner. Hämtat från [https://www.svenskttra.se/publikationer\\_start/publikationer/kl-trahandbok/](https://www.svenskttra.se/publikationer_start/publikationer/kl-trahandbok/)

## Figurförteckning

Figur 2. CLT har den minsta koldioxidutsläppen jämfört med andra byggmaterialen. (Puuinfo, Rakennustiedon RT – ympäristöselosteet) [Hämtat 28.01.2020]

Figur 6. Borgström. E & Fröbel. J (2017). Kom ihåg (KL-trähanboken) Svenskt Trä.

Figur 8. Seinäelementit (timberpoint, 2020) <http://www.timberpoint.fi/> [Hämtat 16.03.2020]

Figur 11-12, 27-36, 39-44, 52-53. Danielsson, H. [SvensktTra]. (2017, Maj 31). Dimensionering av KL-träkonstruktioner [Video fil]. Hämtat från <https://www.youtube.com/watch?v=8Wwbn-hjyFk>

Figur 6, 13-26, 37-38, 45-51. Svenskt Trä. (2017) KL-trähandbok. Dimensionering av KL-träkonstruktioner. Hämtat från [https://www.svenskttra.se/publikationer\\_start/publikationer/kl-trahandbok/](https://www.svenskttra.se/publikationer_start/publikationer/kl-trahandbok/)

Resten av bilderna är mina personliga bilder som jag själv fotograferat.

## Tabellförteckning

Tabell 1. Svenskt Trä. (2017) KL-trähandbok. Dimensionering av KL-träkonstruktioner.

Hämtat från [https://www.svensktra.se/publikationer\\_start/publikationer/kl-trahandbok/](https://www.svensktra.se/publikationer_start/publikationer/kl-trahandbok/)

## 7 Bilagor

### BILAGA 1

#### Exempel på: Väggen Knäckhållfasthet

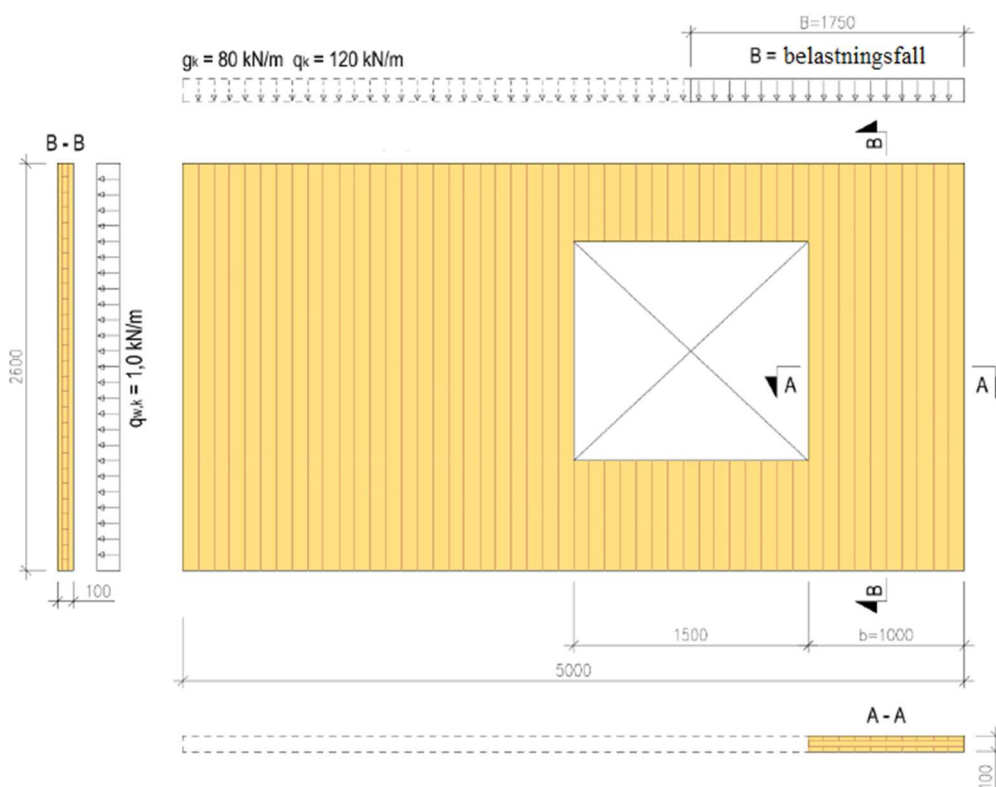
I detta beräkningsexempel har jag använt CrossLams Beräkningsmodell som hjälp och säkerhetskoefficienter för finska standard.

#### 1.0 Belastning:

Väggens laster är presenterade på bilden nedan. Kontrollerar 1000mm bred del av väggen bredvid fönstret. I denna beräkning beaktas bara ett belastningsfall.

$CC2 \gg K_{FI} = 1,0$

Sågvirke = C24, Gran



#### 2.0 Tvärsnitt:

CLT:s knäckningshållfasthet dimensioneras enligt de lodräta lamellerna. (de vågräta lamellerna ignoreras i dimensioneringen). De vågräta lamellerna belastas vinkelrätt mot fiberriktningen, detta orsakar glidning mellan de lodräta lamellerna. Glidningen försämrar tvärsnittets böjstyvhets, så man måste bestämma effektiva tvärsnittet för skivan. De nedan stående beräkningarna gäller bara då när CLT-skivan har max 5 lameller.





## 2.1 Den effektiva tröghetsmomenten:

$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$  (Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje, tabell 3.3)

$$G_{R,mean} = \begin{cases} 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{för granvirke} \\ 60 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{för tallvirke} \end{cases} \quad (\text{RIL 205 - 1 - 2009 CLT päivitykset})$$

$L = 2600 \text{ mm}$  (väggens höjd)

$b = 1000 \text{ mm}$  (den kontrollerade bredden)

$t = 20 \text{ mm}$

$h_1 = 30 \text{ mm}$

$a_1 = 35 \text{ mm}$

$d_1 = 15 \text{ mm}$

$$A_1 = b \times h_1 = 1000 \times 30 = 30000 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \left( \frac{\pi^2 \times E_{0,mean} \times A_1 \times t}{L^2 \times G_{R,mean} \times b} \right)} = \frac{1}{1 + \left( \frac{\pi^2 \times 11000 \times 30000 \times 20}{2600^2 \times 50 \times 1000} \right)} = 0,8708933525$$

$$I_{y,1} = \frac{b \times h_1^3}{12} + \gamma_1 \times A_1 \times a_1^2 = \frac{1000 \times 30^3}{12} + 0,8708933525 \times 30000 \times 35^2 = 34255331 \text{ mm}^2$$

$$I_{ef,L} = 2 \times I_{y,1} = 2 \times 34255331 = 68510661 \text{ mm}^4$$

## 2.2 Effektiv böjmotstånd:

$$W_{ef,L} = \frac{I_{ef,L}}{\gamma_1 \times a_1 + d_1} = \frac{68510661}{0,8708933525 \times 35 + 15} = 1506349 \text{ mm}^3$$

## 2.3 Effektiv statistiskt moment:

$$S_{ef,1} = A_1 \times \gamma_1 \times a_1 = 30000 \times 0,8708933525 \times 35 = 914438 \text{ mm}^3$$

## 2.4 Effektiv Area:

$$A_{ef} = 2 \times A_1 = 2 \times 30000 = 60000 \text{ mm}^2$$

## 3.0 Knäckhållfasthet:

$$L_{c,z} = 2600 \text{ mm (knäckninglängd längs } Z - \text{ axeln)}$$

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (Momentantidsklass, klimatklass 1) [EC 5 lyhennetty suunnitteluohje tab. 3.1]}$$

$$\gamma_M = 1,25 \text{ (Partialkoefficient för CLT) [EC 5 lyhennetty suunnitteluohje tab. 2.7]}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2 \text{ (lamellens tryckhållfasthet) [EC 5 lyhennetty suunnitteluohje tab. 3.3]}$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2 \text{ (Lamellens böjhållfasthet) [EC 5 lyhennetty suunnitteluohje tab. 3.3]}$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2 \text{ (EN 338, tab. 1)}$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ (CrossLam Kuhmo CLT-alkukäyryskerroin)}$$

$n$  = mängden av de brevidliggande lamellerna i tvärsnittet

$$n = 10 \text{ st. i denna exempel}$$

$$k_{sys} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,025 \times n = 1 + 0,025 \times 10 = 1,25 \\ 1,2 \end{array} \right.$$

$$k_{sys} = 1,2$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_{ef,L}}{A_{ef}}} = \sqrt{\frac{68510661}{60000}} = 33,8$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{2600}{33,8} = 76,9$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{76,9}{\pi} \times \sqrt{\frac{21,0}{7400}} = 1,3$$

$$k_y = 0,5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5 \times (1 + 0,1 \times (1,3 - 0,3) + 1,3^2) = 1,4$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \leq 1 = \frac{1}{1,4 + \sqrt{1,4^2 - 1,3^2}} = 0,52 \leq 1 \text{ (Nyttograd 52\%)} \text{ OK!}$$

Den samlade lasten vid den granskade fönsteröppningens bredd beaktar man med att använda belastningsbredd på  $B=1750\text{mm}$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{\frac{B}{b} \times (1,15 \times g_k + 1,5 \times q_k)}{A_{ef}} = \frac{\frac{1750}{1000} \times (1,15 \times 80000 + 1,5 \times 120000)}{60000} = 7,9 \text{ N/mm}^2$$

I detta exempel är faktorn för kombinationsvärden för vindlast  $\Psi_0 = 0,6$

$$M_{y,d} = \frac{\frac{B}{b} \times (1,5 \times \Psi_0 \times q_{w,k}) \times L^2}{8} = \frac{\frac{1750}{1000} \times (1,5 \times 0,6 \times 1) \times 2,6^2}{8} = 1,33 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{my,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{ef,L}} = \frac{1,33 \times 10^6}{1506349} = 0,88$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \times f_{c,0,k} = \frac{1,1}{1,25} \times 21 = 18,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \times f_{m,k} \times k_{sys} = \frac{1,1}{1,25} \times 24 \times 1,2 = 25,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{my,d}}{f_{m,d}} < 1 = \frac{7,9}{0,52 \times 18,5} + \frac{0,88}{25,3} = 0,85 < 1 \text{ (nyttograd 85\%)} \text{ OK!}$$

#### 4.0 Limmfogens skjuvhållhasthet:

Tvärgående lamellernas skjuvspänning kan antas vara samma över hela lamell höjden, så skjuvspänningen är samma för limfogen som för neutralaxeln.

$$k_{mod} = 1,1$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$f_{R,d,0} = 0,71 \text{ N/mm}^2 \text{ (CrossLam Kuhmo CLT – Typ C5 – tasoleikkauslujuus, se. del 1 tab.2)}$$

$$V_d = \frac{\frac{B}{b} \times (1,5 \times \Psi_0 \times q_{w,k}) \times L}{2} = \frac{\frac{1750}{1000} \times (1,5 \times 0,6 \times 1) \times 2,6}{2} = 2,048 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{V_d \times S_{ef,1}}{I_{ef,L} \times b} = \frac{2048 \times 914438}{68510661 \times 1000} = 0,027 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{R,d,0} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \times f_{R,k,0} = \frac{1,1}{1,25} \times 0,71 = 0,62 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} > \frac{0,027 \text{ N}}{\text{mm}^2} \text{ (nyttograd 4,4\%)} \text{ OK!}$$

## 5.0 Nedböjning:

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

$$u_{inst,w} = \frac{5}{384} \times \frac{\frac{B}{b} \times (\Psi_0 \times q_{w,k}) \times L^4}{E_{0,mean} \times I_{ef,L}} = \frac{5}{384} \times \frac{\frac{1750}{1000} \times (0,6 \times 1) \times 2600^4}{11000 \times 68510661} = 0,83 \text{ mm}$$

$$u_{inst,w} = 0,83 \text{ mm} < \frac{L}{300} (8,7 \text{ mm}) \text{ (nyttograd 10\%)} \text{ OK!}$$

Källor:

- RIL 205-1-2009 CLT päivityskset 7.5.2014
- EN 1995-1-1+ nationella bilagor
- EN 338
- CrossLam

Beräknaren ansvarar inte för eventuella fel i beräkningarna och eventuella följder av misstag för den som använder denna beräkning. Användaren av beräkningen har ensam ansvar för autenticitet av beräkningarna.

## BILAGA 2.

## Exempel på kontroll av bjälklagsplatta.

**CLT Dimensionering** använt av = (RII, SVT-KL, EC, ECS, Cressden)

**Kontroll av bjälklag:** Belastning: 1.0

• CC2  $\Rightarrow k_{F1} = 1,0$  (EN 1996 Semiteeluperustet)

$g_k = 1,4$ ,  $q_k = 2,0 \text{ kN/m}$

• Fritt upplagt bjälklag med längden 5,5m


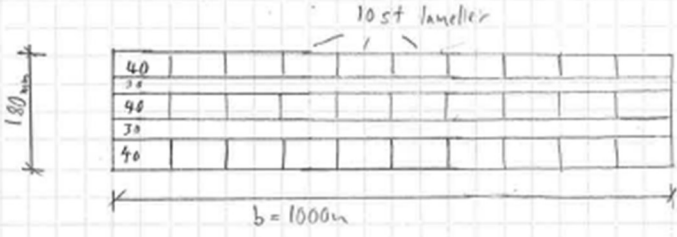
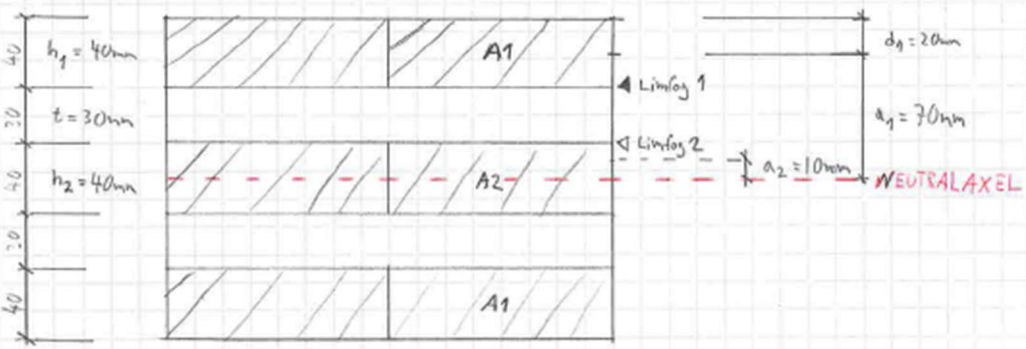
• S-skivplatta,  $40+30+40+30+40 = 180 \text{ mm}$

• Bräder, C24, klimatklass 1, Granvitke

• Skivans bredd = 2,4m

2.0 Tvärsnitt:

CLT:s bjälklags hållbarhet dimensioneras enligt lamellerna som går längs med spännvidden. Tvärgående lamellerna kan man notera i Vibration. Tvärgående lamellerna orsakar glidning mellan den längsgående lamellerna. Glidning sänker CLT:s tvärsnitts böjningsstyrket, så CLT:s effektiva tvärsnitt bör bestämmas. I denna beräkning visas den effektiva styrketen för CLT med max 5 lameller.

novia.fi

1.

## 2.1 Effektivt Tröghetsmoment:

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2 \text{ (EN 338, tabel 1)} \quad \left( \begin{array}{l} \text{EC 5, tabel 3.3} \\ 11500 \text{ N/mm}^2 \text{ (Crosslam)} \end{array} \right)$$

$$G_{R,mean} = \begin{cases} 50 \text{ N/mm}^2 & \text{Granvirke} \\ 60 \text{ N/mm}^2 & \text{Tallvirke} \end{cases} \quad \left( \begin{array}{l} \text{RIL 205-1-2009 (LT päivitykset)} \\ \text{(3.8.35)} \quad \text{[3.5.2014]} \end{array} \right)$$

$$L = 5500 \text{ mm (spännvid)}$$

$$t = 30 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm (Den gausade tvärsnittets bred)}$$

$$h_1 = 40 \text{ mm}$$

$$h_2 = 40 \text{ mm}$$

$$a_1 = 70 \text{ mm}$$

$$a_2 = 10 \text{ mm}$$

$$d_1 = 20 \text{ mm}$$

$$A_1 = b \cdot h_1 = 1000 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm} = 40\,000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = b \cdot h_2 = 1000 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm} = 40\,000 \text{ mm}^2$$

$$I = \text{tröghetsmoment} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \left( \frac{\pi^2 \cdot E_{0,mean} \cdot A_1}{L^2} \cdot \frac{t}{G_{R,mean} \cdot b} \right)} = 1 + \frac{1}{\frac{\pi^2 \cdot 11000 \text{ N/mm}^2 \cdot 40\,000 \text{ mm}^2}{5500^2 \text{ mm}^2} \cdot \frac{30 \text{ mm}}{50 \text{ N/mm}^2 \cdot 1000 \text{ mm}}} =$$

$$\gamma_1 = 0,920696$$

$$I_{y,1} = \frac{b \cdot h_1^3}{12} + \gamma_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 = \frac{1000 \text{ mm} \cdot 40^3 \text{ mm}^3}{12} + 0,920696 \cdot 40\,000 \cdot 70^2 \text{ mm}^4 = 18\,578\,974,9 \text{ mm}^4$$

$$I_{y,2} = \frac{b \cdot h_2^3}{12} = \frac{1000 \text{ mm} \cdot 40^3 \text{ mm}^3}{12} = 5\,333\,333 \text{ mm}^4$$

$$I_{ef,L} = 2 \cdot I_{y,1} + I_{y,2} = 2 \cdot 18\,578\,974,9 \text{ mm}^4 + 5\,333\,333 \text{ mm}^4 = 37\,691\,283,1 \text{ mm}^4$$



## 2.2 Effektiv böjmotstånd:

$$W_{ef,L} = \frac{I_{ef,L}}{\gamma_1 \cdot a_1 + d_1} = \frac{376912831 \text{ mm}^4}{0,920696 \cdot 70 \text{ mm} + 20 \text{ mm}} = 4463215 \text{ mm}^3$$

## 2.3 Effektiv statiskt moment:

$$S_{ef,1} = A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 = 40000 \text{ mm} \cdot 0,920696 \cdot 70 \text{ mm} = 2577948 \text{ mm}^3$$

$$S_{ef,2} = A_1 \cdot \gamma_1 \cdot a_1 + \frac{A_2}{2} \cdot a_2 = 40000 \text{ mm} \cdot 0,920696 \cdot 70 \text{ mm} + \frac{40000}{2} \cdot 10 \text{ mm} = 2777948 \text{ mm}^3$$

## 3.0 Böjstiffhet / Böjmotstånd (Tävlingskoefficient)

$$k_{mod} = 0,8 \quad (\text{Medellång tidklass / klimatklass 1}) \quad [\text{EC 5 Punktensiden I-höjdet, snittvärde, heljäs pånos}]$$

$$\gamma_M = 1,25 \quad (\text{EC 5 I-höjdet, snittvärde})$$

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{EN 338, Tabel 1}) \quad [\text{EC 5, tabell 3.3}]$$

$$E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{EN 338, Tabel 1}) \quad [\text{EC 5, tabell 3.3}]$$

$$k_{sys} = \min \begin{cases} 1 + 0,025 \cdot n = 1,25 \\ 1,1 \end{cases} \quad (\text{RIL 205-1-2007 CL7 privitykset, 3.8.4.5})$$

$n =$  antalet lameller brevid varandra i tvärsnittet  $= 10 \text{ st}$

$$k_{sys} = 1,1$$

$$M_{max} = \frac{p \cdot l^2}{8} \quad (\text{Bygghandboken 2017-2018, S.60})$$

$$M_{y,d} = \frac{(1,15 \cdot g_k + 1,5 \cdot q_k) \cdot L^2}{8} = \frac{(1,15 \cdot 1,4 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 2,0 \text{ kN/m}) \cdot 5,15^2}{8} = 17,43 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_{ef,L}} = \frac{17,43 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{4463215 \text{ mm}^3} = 3,905 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot f_{m,k} \cdot k_{sys} = \frac{0,8}{1,25} \cdot 24 \text{ N/mm}^2 \cdot 1,1 = 16,896 \text{ N/mm}^2 > 3,905 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{OK} \checkmark$$

(utnyttjningsgrad 23,1%)

### 5.0 Skjuvkraft i neutralaxeln (leikkausostivyyd)

$$k_{red} = 0,8, \quad \gamma_M = 1,25$$

$$f_{v,k} = 4 \text{ N/mm}^2 \quad [\text{EC 338, Tabel 1}]$$

$$V_d = \frac{(1,15 \cdot 0k + 1,5 \cdot 9k) \cdot L}{2} = \frac{(1,15 \cdot 1,4 \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 2,0 \text{ kN/m}) \cdot 5,5 \text{ m}}{2} = 12,67 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_{ef,z}}{I_{ef,L} \cdot b} = \frac{12677 \text{ N} \cdot 2777948 \text{ mm}^3}{376912831 \text{ mm}^4 \cdot 1000 \text{ mm}} = 0,0934 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{red}}{\gamma_M} \cdot f_{v,k} = \frac{0,8}{1,25} \cdot 4 \text{ N/mm}^2 = 2,56 \text{ N/mm}^2 > 0,093 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \text{OK} \checkmark$$

(Uthytjande grad 3,6%)

### 6.0 Nedböjning:

$$E_{o,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{def} = 0,8 \quad (\text{Klimatklass 1, LT lappellaan, EC 5})$$

$$\psi_2 = \text{Muutuvuokorinan pitkäaikaisarvon yhdistelykerrain} \quad q_k / \text{Medelläng} = 0,30 \quad (\text{SVT-k1 tulos 5.107})$$

$$w_{inst,g} = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_k \cdot L^4}{E_{o,mean} \cdot I_{ef,L}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,4 \text{ N/mm} \cdot 5500 \text{ mm}^4}{11000 \text{ N/mm}^2 \cdot 376912831 \text{ mm}^4} = 4,02 \text{ mm}$$

$$w_{inst,q} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E_{o,mean} \cdot I_{ef,L}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,0 \text{ N/mm} \cdot 5500 \text{ mm}^4}{11000 \text{ N/mm}^2 \cdot 376912831 \text{ mm}^4} = 5,74 \text{ mm}$$

$$\sum w_{inst} = 4,02 \text{ mm} + 5,74 \text{ mm} = 9,76 \text{ mm} < L/400 \quad (13,75 \text{ mm}) \Rightarrow \text{OK} \checkmark$$

(Nyttogind 70,9%)

$$w_{fin} = w_{inst,g} \cdot (1 + k_{def}) + (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \cdot w_{inst,q}$$

$$w_{fin} = 4,02 \text{ mm} \cdot (1 + 0,8) + (1 + 0,3 \cdot 0,8) \cdot 5,74 \text{ mm} = 14,35 \text{ mm}$$

$$\sum w_{fin} = 14,35 \text{ mm} < L/300 \quad (18,33 \text{ mm}) \Rightarrow \text{OK} \checkmark \quad (\text{Nyttogind 78,2\%})$$



## 7.0 Dimensionering av vibration

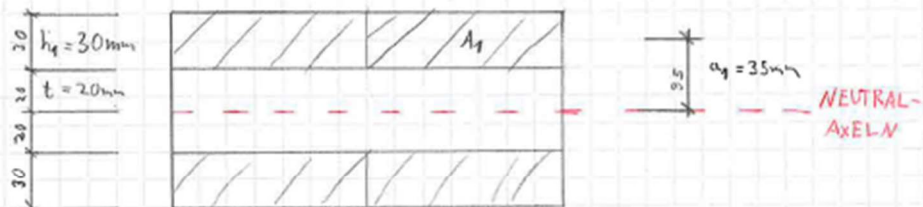
## 7.1 Den effektiva böjstyrketen i längsgående riktning:

$$E_{0,mean} = 11\,000 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 \quad [\text{ECS, lyhennetty suunniteltu ohje}]$$

$$I_{ef,L} = 0,000376912831 \text{ m}^4 \quad (2.1) \quad (1\text{m bred})$$

$$(EI_{ef})_L = (11\,000 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2) \cdot 0,000376912831 \text{ m}^4 = 4,17 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2 \quad (1\text{m})$$

## 7.2 Den Effektiva böjstyrketen i tvärriktningen:



$$E_{0,mean} = 11\,000 \text{ N/mm}^2 = 11\,000 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2 \quad (2.1)$$

$$G_{R,mean} = 50 \text{ N/mm}^2 \quad (2.1)$$

$$L = 2400 \text{ mm} \quad (\text{CLT skivans bredd, vinkelträff not spänniden})$$

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

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h_1 = 30 \text{ mm}$$

$$a_1 = 35 \text{ mm}$$

$$A_1 = b \cdot h_1 = 1000 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm} = 30\,000 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_1^2 = \frac{1}{1 + \left( \frac{\pi^2 \cdot E_{0,mean} \cdot A_1 \cdot t}{L^2} \cdot \frac{t}{G_{R,mean} \cdot b} \right)} = \frac{1}{1 + \left( \frac{\pi^2 \cdot 11\,000 \text{ N/mm}^2 \cdot 30\,000 \text{ mm}^2 \cdot 20 \text{ mm}}{2400 \text{ mm}^2} \cdot \frac{20 \text{ mm}}{50 \text{ N/mm}^2 \cdot 1000 \text{ mm}} \right)} =$$

$$\gamma_1^2 = 0,8155419897$$

$$I_{x,1} = \frac{b \cdot h^3}{12} + \gamma_1^2 \cdot A_1 \cdot a_1^2 = \frac{1000 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm}^3}{12} + 0,8155419897 \cdot 30\,000 \text{ mm} \cdot 35 \text{ mm}^2 = 30046168 \text{ mm}^4$$

$$I_{ef,B} = 2 \cdot I_{x,1} = 2 \cdot 30046168 \text{ mm}^4 = 60092336 \text{ mm}^4 \approx 0,00066688424 \text{ m}^4 \quad (1\text{m})$$

$$(EI_{ef})_B = (11\,000 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2) \cdot 0,00066688424 \text{ m}^4 = 7,35 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2 \quad (1\text{m})$$



### 7.3 Svängningar:

Den lägsta egenfrekvensen  $f_1$ , beräknas:

$$f_1 = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EI_{\text{eff}}L}{m}} = \frac{\pi}{2 \cdot 5,5^2} \cdot \sqrt{\frac{4,1 \cdot 10^6}{133}} = 9,117 \text{ Hz} > 8 \text{ Hz}$$

me bjälklagets massa/m OK ✓

### 7.4 Kontrollera styvheten genom att beräkna nedböjningen för en punktlast

$F = 1,2 \text{ kN}$   
 $s = 1,0 \text{ m}$  (gissning av skarning 1m)  
 Rumets största mått  $6 \text{ m} \Rightarrow \kappa = 1,0$  (RIL 205-1-2009 bild 7.2 = F1)  
 Skivans bredd  $B = 2,4 \text{ m}$   
 $L = 5,5 \text{ m}$

$$k_s = \sqrt[4]{\frac{(EI_{\text{eff}})B}{(EI_{\text{eff}})L}} = \sqrt[4]{\frac{7,35 \cdot 10^6}{4,1 \cdot 10^6}} = 0,65 \Rightarrow k_s = 0,65$$

$$w = \text{min} \left\{ \begin{aligned} \delta &= \frac{F \cdot L^2}{42 \cdot k_s \cdot (EI_{\text{eff}})_L} = \frac{1200 \text{ N} \cdot 5,5^2}{42 \cdot 0,65 \cdot 4,1 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2} = 0,32 \text{ mm} < 0,5 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK} \checkmark \\ \delta &= \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot s \cdot (EI_{\text{eff}})_L} = \frac{1200 \text{ N} \cdot 5,5^3}{48 \cdot 1,0 \cdot 4,1 \cdot 10^6 \text{ Nm}^2} = 1,0 \text{ mm} \end{aligned} \right.$$