

Trähöghus

En översikt över olika stomtyper

Kim Ehrs

Examensarbete för ingenjörsexamen (YH)

Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik

Vasa 2012



EXAMENSARBETE

Författare: Kim Ehrs
Utbildningsprogram och ort: Byggnadsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ: Konstruktionsteknik
Handledare: Allan Andersson

Titel: Trähöghus – En översikt över olika stomtyper

Datum: 2.4.2012 Sidantal: 25 Bilagor: 6

Abstrakt

Detta examensarbete förklarar begreppet trähöghus eller våningshus med trästomme, som det också kallas i Finland. Det beskriver de olika parterna inom branschen samt ger en inblick i träet som material för höghusbyggandet. Arbetet omfattar en allmän del som beskriver de olika stomtyperna som vanligtvis används inom höghusbyggande.

På grund av skärpta miljökrav har trä blivit ett konkurrenskraftigt material. Träet har många fördelar, bland annat har det låg egenvikt, är lätt att bearbeta och binder koldioxid under hela sin livstid. Trä har använts i många år i central Europa som stommaterial för våningshus. Nu när brandbestämmelserna tillåter upp till åtta våningar blir träet ett intressant alternativ för oss i Finland.

Arbetet innehåller en kommenterad dimensioneringsdel som ger en inblick i dimensionering av stomme med CLT-skivor.

Språk: svenska Nyckelord: trähöghus, CLT, miljökrav

Förvaras: webbiblioteket Theseus.fi eller Tritonia, Vasa vetenskapliga bibliotek.

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Kim Ehrs
Koulutusohjelma ja paikkakunta:	Rakennustekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Rakennesuunnittelu
Ohjaaja:	Allan Andersson

Nimike: Puukerrostalo – Katsaus eri runkovaihtoehtoista

Päivämäärä: 2.4.2012 Sivumäärä: 25 Liitteet: 6

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö selittää käsitteen puukerrostalo tai puurunkoinen kerrostalo. Opinnäyte kuvaa toimialan eri osapuolet sekä antaa käsityksen puusta materiaalina kerrostalorakentamisessa. Työ sisältä yleisen osan joka kuvaa eri runko vaihtoehdot joita tavallisesti käytetään kerrostalorakentamisessa.

Kiristyneiden ympäristövaatimusten ansiosta puusta on tullut kilpakykyinen materiaali. Puulla on monta etua, muun muassa vähäinen omapaino, helppo käsitellä ja sitoo hiilidioksidia koko elinikänsä. Puuta on monta vuotta käytetty Keski-Euroopassa runko materiaalina kerrostaloissa. Kun palomääräykset nykyään sallivat jopa kahdeksan kerrosta tulee puusta mielenkiintoinen vaihtoehto myös Suomessa.

Työ sisältä kommentoidun rungon suunnitelman joka antaa kuvauksen suunnittelusta CLT-rungolla.

Kieli: ruotsi Avainsanat: puukerrostalo, CLT, ympäristövaatimus

Arkistoidaan: Ammattikorkeakoulujen verkkokirjastossa Theseus.fi tai Vaasan tiedekirjastossa Tritoniassa

BACHELOR'S THESIS

Author: Kim Ehms
Degree programme: Building Engineering
Specialization: Structural Design
Supervisor: Allan Andersson

Title: Wooden high-rise buildings – A review of different frame types

Date: 2.4.2012 Number of pages: 25 Appendices: 6

Abstract

This thesis explains the term wooden high-rise building or high-rise building with a wooden frame as it is also called in Finland. The thesis explains the different companies in the sector and also gives an insight into wood as material for a high-rise frame. The thesis includes a general part which explains the different frame types that are normally used in high-rise buildings.

Due to the intensified environmental demands wood has become a competitive material. Wood has many benefits, such as low weight and easy to work with. Wood has been used for many years in central Europe as frames in high-rise buildings. Now that the fire regulations permit buildings with up to eight stories, wood has become an interesting alternative for us in Finland

The thesis contains a commented structural planning that gives an example for a CLT framed building.

Language: Swedish Keywords: wooden high-rise building, CLT, environmental demands

Filed at: The web library Theseus.fi or in the Tritonia Academic Library, Vaasa.

Innehållsförteckning

Abstrakt

Tiivistelmä

Abstract

1	Allmänt	1
1.1	Inledning	1
1.2	Uppdragsgivare	1
1.3	Syfte och målsättning.....	1
1.4	Plan och genomförandet för examensarbetet.....	2
2	Höghus med trästomme	3
2.1	Olika stomtyper för höghus	3
2.1.1	Fackverksstomme	3
2.1.2	Ramstomme	4
2.1.3	Skjuvväggar	5
2.1.4	Kombinerade ram – väggsystem	6
2.1.5	Rörstomme	6
2.1.6	Centralkärna med utriggare	7
2.1.7	Hängkonstruktioner	8
2.2	För- och nackdelar med trästomme.....	8
2.2.1	Fördelar med trästomme.....	9
2.2.2	Problem med trästomme.....	9
2.3	Trähöghus i Finland	10
2.3.1	Befintliga trähöghus i Finland.....	10
2.3.2	Trähöghus under planering.....	11
3	Företag inom trähöghusbranschen.....	12
3.1	Martinssons Bygg	12
3.2	Stora Enso	13
3.3	Lindbäcks Bygg	14
3.4	Metsäwood.....	14
3.5	Eridomic Oy.....	15
4	Tillverkning av stomkomponenter.....	16
4.1	CLT-träskiva	16
4.1.1	Tillverkning	16
4.2	Pelare – balkstomme	17
5	Anslutningsdetaljer för CLT-stomme	18
5.1	Anslutning mellan grund och vägg.....	18
5.2	Anslutning mellan vägg och vägg	19
5.3	Anslutningen mellan bjälklagselementen	19
5.4	Anslutning mellan vägg och bjälklag	20
6	Dimensionering av höghus med CLT-stomme.....	22
6.1	Ytterväggar	22
6.2	Stabiliserande väggar.....	23
6.3	Syll	23
6.4	Mellanbjälklag	24
7	Sammanfattning	25

Källförteckning

Bilagor

Bilaga 1. Dimensionering av CLT yttervägg

Bilaga 2. Dimensionering av CLT skjuvvägg

Bilaga 3. Dimensionering av syll

Bilaga 4. Dimensionering av massivt CLT-bjälklag

Bilaga 5. Dimensionering av samverkningsbjälklag med CLT-skivor

Bilaga 6. Framtagning av böjmotstånd för CLT-skiva

1 Allmänt

1.1 Inledning

I maj 2011 var jag på exkursion till Sverige för att få idéer till ett examensarbete. Vi reste runt i Västerbotten och studerade svenskarnas sätt att använda trä till stora byggnader. Jag blev tillfrågad av min handledare om jag ville ta på mig uppgiften i att föra kunskapen inom trähöghusbyggande till Vasa.

Behovet av trähöghusbyggande har stigit snabbt. Tidigare brandbestämmelser tillät att bygga höghus med maximalt fyra våningar. År 2011 ändrades bestämmelserna och det blev möjligt att bygga ända upp till åtta våningar i Finland. För att garantera tillräcklig brandsäkerhet förses alla trähöghus (3–8 våningar) med sprinklers. Byggbranschen ställs emot ett stort krav att minska miljöpåverkan och genom att bygga mera med trä ger det en möjlighet att minska miljöbelastningen. Fördelarna med en trästomme är många, t.ex. ger den ett behagligt inomhusklimat.

1.2 Uppdragsgivare

Uppdragsgivare för detta ingenjörarbete är VASEK – Vasaregionens Utveckling Ab. VASEK är ett regionalt utvecklingsbolag som ägs av åtta kommuner och har som uppgift att verkställa regionala utvecklingsprojekt, producera branschvisa företagstjänster.

1.3 Syfte och målsättning

Syftet och målsättningen med detta ingenjörarbete är att beskriva metoder med vilka man kan bygga höghus med trästomme. Jag kommer att behandla de olika metoderna som finns på marknaden, både inhemska och utländska. Målet är att få en högre allmän kunskap inom ämnet samt en bra grund för fortsatta ingenjörarbeten.

1.4 Plan och genomförandet för examensarbetet

Detta arbete kommer att till största delen vara en litteraturstudie. Jag behöver få en bild av branschen så jag förstår eventuella svårigheter och problem. Arbetet började i maj 2011 när jag var på exkursion till Sverige. Där fick jag bekanta mig med möjligheterna som finns inom träbyggande.

Jag började examensarbetet med att söka efter företag inom branschen. När jag fick en liten uppfattning om vilka aktörer som finns i branschen började jag se på de enskilda koncepten de olika företagen hade. Jag fastnade ganska fort för CLT-tekniken som liknade mest det traditionella sättet att bygga.

Jag sökte efter information inom CLT-byggande utan att hitta allt för mycket inom Finland. Det första egentliga som gav mig lite information var från Storbritannien. Jag hittade en pdf-samling om CLT-byggande som behandlade materialet allmänt. Det fanns också ett beräkningsexempel på en tolvvåningsbyggnad.

Jag har sökt examensarbeten inom mitt område utan att hitta. De två närmaste som jag hittat var ett från Chalmers som behandlar höghus. (Samuelsson & Svensson 2007) Det andra arbetet behandlar stabilisering av trähöghus med centralt placerat hisschakt. (Nordlund 2010) Arbetena gav mig en bild av hur ett höghus fungerade som ledde mig vidare i mitt eget arbete.

Jag kom ganska snabbt fram till att detta område är stort och innehållet måste begränsas. Handledaren och beställaren önskade en introduktion till olika typer av våningshus, närmast med tanke på kommande ingenjörsarbeten, där man i detalj studerar olika egenskaper hos trävåningshus.

2 Höghus med trästomme

I Finland är den största delen av småhus gjord med trästomme. Det är en kostnadseffektiv lösning som går att prefabricera och därför blir monteringstiden mycket kort.

Däremot på höghussidan är trä mycket svagt representerat. Det har varit begränsningar från brandbestämmelser att man inte får använda trästommar i högre byggnader. Men nu är kraven lättade. Nu kan man bygga upp till åtta våningar enligt den nyaste brandbestämmelsen.

Det finns flera tillverkare på den nordiska marknaden som producerar trähöghus.

2.1 Olika stomtyper för höghus

Det finns många olika alternativ till stommen på ett trähöghus. Det som egentligen bestämmer stommens utformning är det den stora horisontella kraften orsakad av vind. Denna vågräta kraft mobiliserar ett stort stjälpande moment som tillsammans med trästommens låga egenvikt kan orsaka drag i förstyvande väggar och leda till komplicerade och dyra förankringar av väggarna.

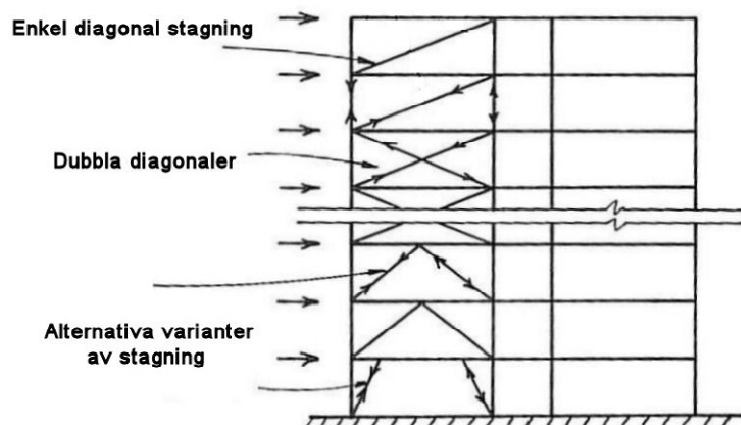
Det finns olika sätt att klara denna horisontella last. Oftast är de olika teknikerna materialberoende, olika material lämpar sig bättre för vissa typer av lösningar av stommen.

2.1.1 Fackverksstomme

Stommen fungerar med diagonala stag mellan de olika våningsplanerna. Stagen binder ihop våningarna till ett fackverk som effektivt tar hand om de horisontella krafterna. Denna typ av stomme ger en mycket effektiv användning av materialet som leder till att stommen blir mycket lätt. De horisontella balkarna tar endast emot den del av vinden som verkar direkt på våningen. Detta leder till att de horisontella bjälklagen tar emot lika stora laster, vilket gör att man kan använda sig av samma typs bjälklag i hela huset.

Nackdelen med fackverkstommen är integrationen av de diagonala stagen mellan våningarna. Det bildas problem om man ska placera ett fönster eller en dörr där ett stag går. Eventuellt går

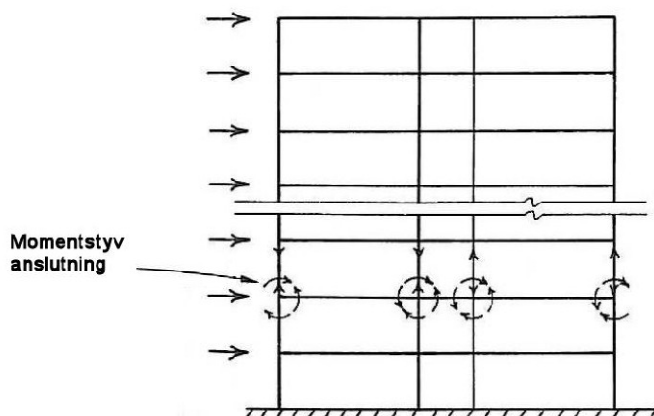
det att lösa genom att dra vindförbanden mellan flera våningar, till exempel från den tredje våningen till den femte. (Smith & Coull 1991 s. 37–38)



Figur 1 Fackverksstomme (Smith & Coull 1991)

2.1.2 Ramstomme

Denna konstruktion fungerar med principen av momentstyva hörn. Stommen är ofta inspänd i grunden. Hörnen i stommen tar hand om den stora horisontella kraft som sedan förflyttas till marken. Denna lösning lämpar sig för lite lägre byggnader så de horisontella krafterna inte kommer åt att växa sig alltför stora. Använder man sig av denna lösning är man nästan tvungen att använda sig av ståldetaljer i anslutningarna för att klara det stora moment som bildas. Denna lösning är ovanlig i trävåningshus. (Smith & Coull 1991 s. 38–40)

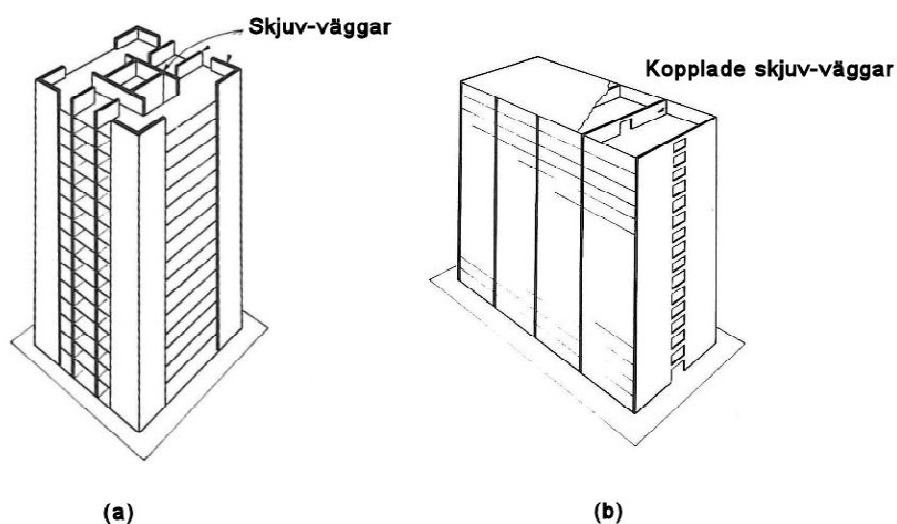


Figur 2. Ramkonstruktion med momentstyva hörn (Smith & Coull 1991)

2.1.3 Skjuvväggar

För betongväggar som tar horisontell last och lodrät last fungerar väggen som skjuvvägg för horisontella krafter. En förstyvande vägg skall helst ta både horisontella och vertikala laster samtidigt. Egenvikten är oftast till fördel vid stabilisering. Man strävar till att minimera förankringsbehovet genom att påföra egenvikt på förstyvande väggar.

Denna lösning är mycket lämpad för träbyggande för man behöver inte klara av stora moment i anslutningarna, endast stora tvärkrafter. Dessa krafter är lätta att dimensionera emot och anslutningarna är lätta att planera. Man använder oftast bara kraftiga skruvar som överför krafterna. För trästommar blir egenvikten ofta så liten att kopplade skjuvväggar enl. fig. 3 (b) blir fördelaktigast. (Smith & Coull 1991 s.41–42)

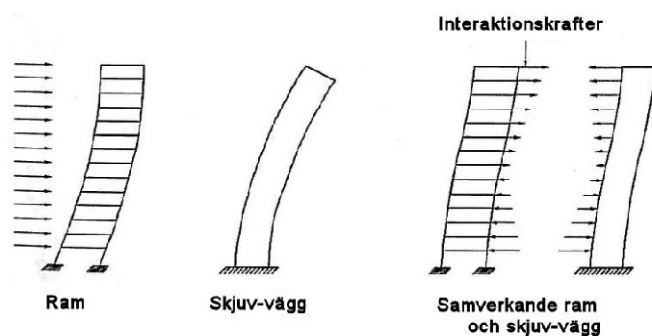


Figur 3 (a) Skjuvväggskonstruktion (b) Kopplad skjuvväggskonstruktion

(Smith & Coull 1991)

2.1.4 Kombinerade ram – väggsystem

Det finns stomsystem som kombinerar ramstommen med skjuvväggar. Denna typ av konstruktion klarar högre höjder än ram eller skjuvväggsystemet. Fördelarna är möjlighet till högre höjder och konstruktionen blir stabilare. (Smith & Coull 1991 s.42–44)

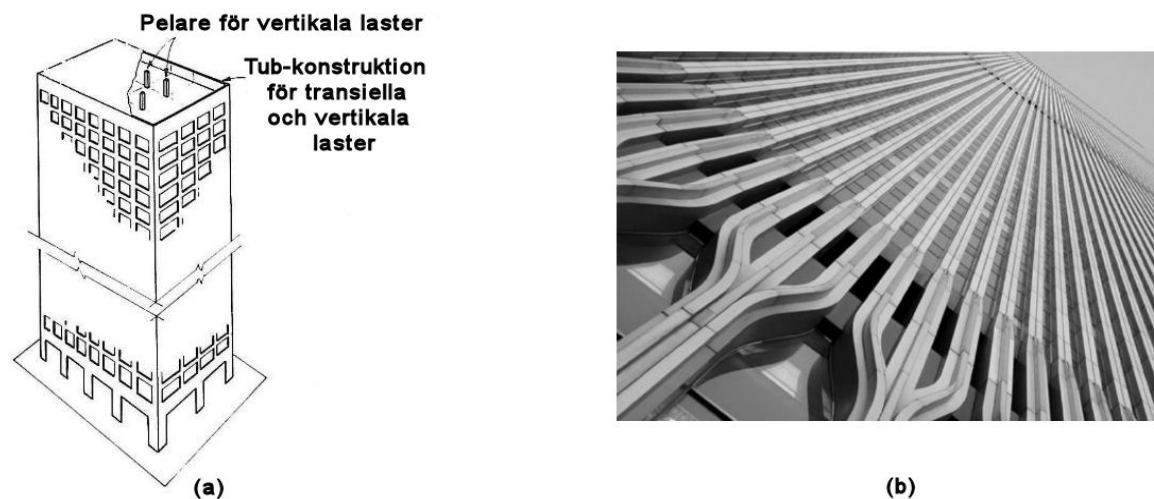


Figur 4 Kombinerade ram – väggsystem (Smith & Coull 1991)

2.1.5 Rörstomme

Vid 1960-talets mitt togs detta alternativ fram. Det fungerar som en ramkonstruktion, men det är det yttersta skalet som har pelarna i sig. Alltså man kan tänka sig som ett profilrör där det är kanterna som bär och mitten är tom.

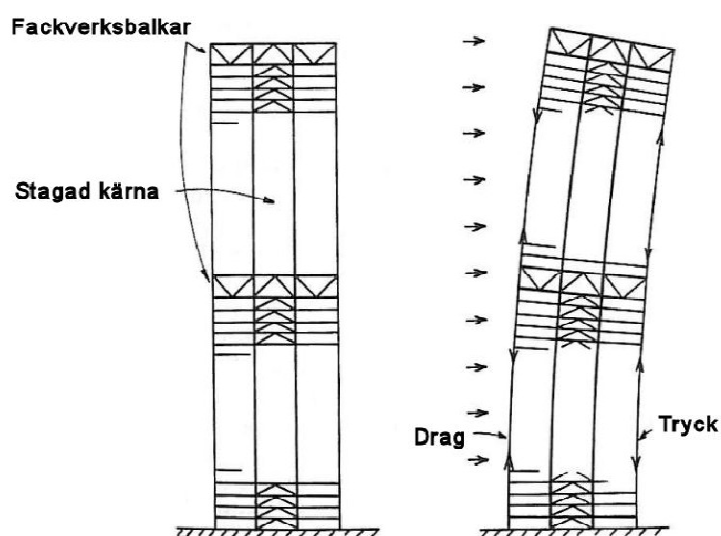
Detta system ger möjligheter till mycket höga byggnader, men kräver stora och komplicerade uträkningar. (Smith & Coull 1991 s. 44–49)



Figur 5 Rörstomme (Smith & Coull 1991)

2.1.6 Centralkärna med utriggare

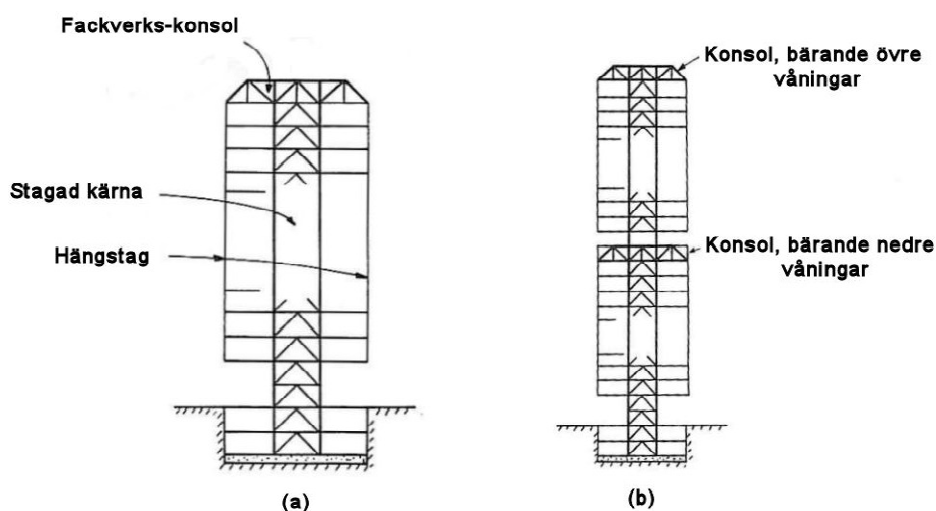
Utriggarsystemet innebär en stor kraftig centralkärna med horisontella fackverk som binder ihop kärnan med det yttre skalet. Centralkärnan kan vara gjord av armerad betong och fackverken kan vara gjorda av stål. Fackverken tar emot mycket stora laster, därför brukar de vara mycket höga. De kan gå genom flera våningar på höjden. (Smith & Coull 1991 s.49–50)



Figur 6. Centralkärna med utriggare (Smith & Coull 1991)

2.1.7 Hängkonstruktioner

Hängkonstruktioner är liknande system som utriggarsystemet. De använder sig av stora fackverk som delar upp byggnaden på höjden i delar. Överst i delen så finns ett stor massivt fackverk som bär upp alla våningar under. Detta ger möjligheter till ett mycket öppet bottenplan och de dragna stålen mellan våningarna blir ganska slanka. (Smith & Coull 1991 s. 50–52)



Figur 7 Hängkonstruktioner (Smith & Coull 1991)

2.2 För- och nackdelar med trästomme

Det finns flera olika koncept inom trähöghusbyggande. De två vanligaste systemen använder sig av ramsystemet eller skjuvväggar. Ramsystemet är uppbyggt av limträpelare som anslutes med ståldetaljer till horisontella balkar samt pelare till nästa våning. Detta alternativ ger ett bra utnyttjande om man beaktar materialåtgång.

Den andra metoden som används är skjuvväggar. Detta system baseras på användning av skivor (plywood, gipsskivor) + regler eller av stora massiva träskivor som både tar hand om den lodräta kraften samt den horisontella. Denna lösning ger fördelar med anslutningarna. Anslutningarna behöver inte klara av moment, endast av normalkraft och tvärkraft. Normalkraften överförs med direkt kontakttryck och tvärkraften med bultar. Denna teknik ger också möjlighet till höga byggnader.

2.2.1 Fördelar med trästomme

Det finns flera fördelar att använda en massivträ stomme för höghus. Träet är ett hygrokopiskt material som absorberar och avger fukt. Det jämnar ut fukthalten i huset under de stora variationerna som vårt nordiska klimat ger oss. (Siikanen 2008 s. 146–151)

Det är ett koldioxidneutralt material som är miljövänligt. Det kräver nästan ingen energi vid tillverkning och vid rivning kan man bränna materialet och få ut energi. Vid elementtransporten gör man stora inbesparningar pga. materialets lätta vikt..

Monteringen av elementen på arbetsplatsen är mycket snabb. Man behöver inte vänta på att betong skall torka innan man kan fortsätta. Det ger inbesparningar vid monteringen när man inte behöver ha så stor lyftkapacitet för att få elementen dit man vill.

2.2.2 Problem med trästomme

Det finns flera bekymmer med en trästomme i höghusmiljö. På grund av materialets låga egenvikt går ljud och vibrationer lätt igenom. För bjälklag går detta att lösa med ett flytande golvlösning eller genom att öka bjälklagets böjstyvhet.(Karjalainen 1997 s.108–111)

Beaktar man träets egenskaper märker man att dess hållfasthet är mycket beroende av fiberriktningen. Trycket man träet längs med fibrerna håller det runt 20 MPa. Trycker man det tvärs med fibrerna faller tryckhållfastheten dock ner till ca en åttondedel, dvs. ca 2,5 MPa. Detta ställer till bekymmer om man tänker använda tekniker från småhusproduktionen. Gör man höghus av vanliga element som är gjorda med spirat virke kommer det att vara syllen som blir kritisk först pga. träets minimala tryckhållfasthet tvärs mot fiberriktningen. Detta går att kompensera med att man använder LVL eller plywood till syll. (Eurocode 5: Puurakenteiden suunnittelu).

Andra problem som kommer emot är den kraftiga horisontella kraft som vinden producerar. Normalt är det gipsskivorna på insidan som ska ta hand om denna kraft, men när man går upp i våningar kommer den horisontella kraften att mångdubblas och gipset klarar inte av det längre. Detta går att kompensera med kraftiga fanerskivor som fungerar som stabiliserande element.

Alla dessa bekymmer är lösta om man använder sig av massiva träskivor som är korslimmade. De används både som väggar och bjälklag. I en mycket nära framtid kommer troligtvis denna stomtyp att dominera trävåningshusmarknaden, naturligtvis under förutsättning att prissättningen är riktig.

2.3 Trähöghus i Finland

I Finland har man redan byggt trähöghus på 1990- talet när det var en stor ekonomisk lågkonjunktur. Därför finns det redan ett flertal färdiga hus. De höjda miljöfrågorna driver fram träet som en stark kandidat gentemot betong.

2.3.1 Befintliga trähöghus i Finland

De första trähöghusen som byggdes i Finland var i Ylöjärvi år 1996. De byggdes för den årliga bostadsmässan. På området placerades tre stycken höghus, två till tre våningar med sammanlagt 19 lägenheter.(Puukerrostalot Suomessa)

Det högsta trähöghuset som finns för tillfället är i Heinola i södra Finland. Det har fem våningar med totalt 27 lägenheter. De använder sig av ett kombinationsmellanbjälklag som är uppbyggd av limträbalkar samt har en 60 mm gjutning ovanpå. Betongen är där för att höja stabiliteten och minska vibrationerna. (Kupianen 2011, s.18)



Figur 8. PuuEra-huset i Heinola (RKL Reponen Oy – Uutiset, 2011)

2.3.2 Trähöghus under planering

SRV Oy planerar tillsammans med Stora Enso ett stort område i Helsingfors. Designen är baserad på Stora Ensos Urban Multistory, de kommer alltså att använda sig av CLT-skivor. (Stora Enso and SRV plan in co-operation to build a world-class Wood City, 2011)

Lakea Oy planerar ett stort trähöghus kvarter i Jyväskylä. De planerar att ha 4–8-våningshus gjorda med CLT-träskivor (Lakea rakentaa puukerrostalo kortellin, 2011)

3 Företag inom trähöghusbranchen

Det finns ett flertal företag som har färdiga koncept för flervåningsbyggande. Det finns inte så många företag inom Finland som är specialiserade på trähöghus i Finland, men i Sverige är det betydligt vanligare.

I Finland drivs träbyggande framåt av projektet Moderni puukaupunki. Projektet startades upp av Uleåborgs universitetets puustudio i arkitekturavdelningen. Projektet har till uppgift att skapa konkreta exempel på trevliga bostadsmiljöer runt om i landet med hjälp av trä. De har också till uppgift att visa hur man kan använda sig av trä i inredningen samt att visa de goda miljöaspekterna med träet. Markku Karjalainen har varit en av nyckelpersonerna inom projektet. (Modernit puukaupungit)

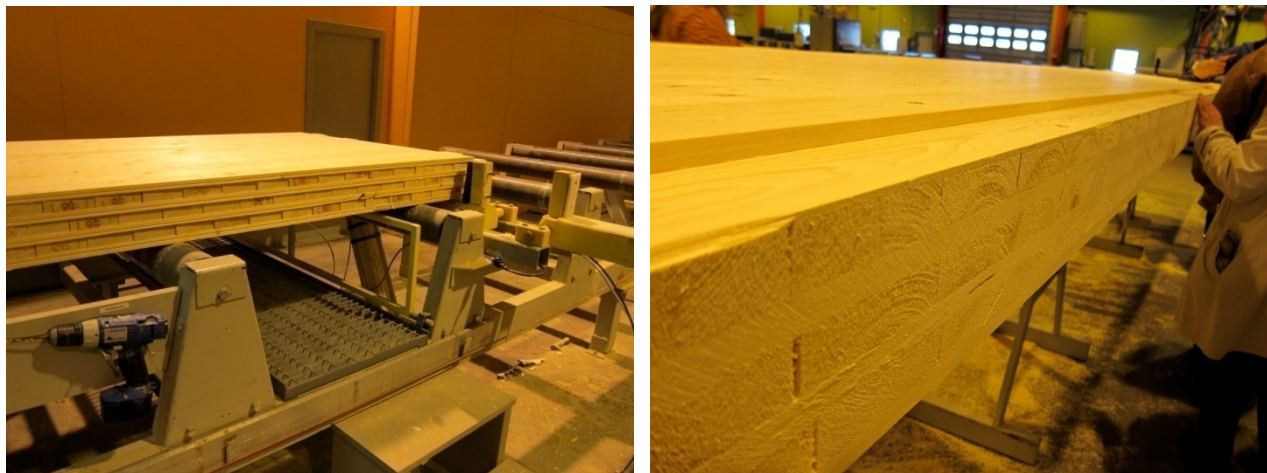
Markku Karjalainen har den 1.1.2012 utnämnts till utvecklingschef på Arbets- och Näringslivsministeriet. Han har som mål att höja trähöghusens andel till 10 % av marknaden samt fördubbla exporten av trävaruindustrin.

(Puuinfon Markku Karjalaisesta Työ- ja elinkeinoministeriön puurakentamisohjelman vetäjä 2012)

3.1 Martinssons Bygg

Martinssons Bygg AB är ett företag i Sverige grundat år 1954. De producerar sågvaror och förädlade träprodukter såsom limträ och KL-trä.

Deras höghus koncept går ut på massiva KL-trä skivor. KL-trä står för korslaminerat trä, alltså fiberriktningen svängs 90° mellan de olika lamellerna. Skivorna är uppbyggda av trälameller som blir limmade ihop till stora skivor.



Figur 9 & 10 Martinssons Bygg – KL-träskivor

3.2 Stora Enso

Stora Enso är ett stort företag inom pappers- och träindustrin. Deras produktsortiment innehåller massvis med produkter inom pappersbranschen och träprodukter.

Deras trähöghuskoncept går ut på liknande träskivor (kallas CLT) som Martinssons (kap.3.1), dock klarar de att producera skivor till en storlek av 2,95 m * 16 m * 0,4 m. Skivorna fungerar och används på samma sätt som KL-träskivorna.



Figur 11 CLT byggande (Stora Enso – Public buildings, 2008)

3.3 Lindbäcks Bygg

Lindbäcks Bygg är en del av Lindbäckskoncernen som grundades 1924. Lindbäcks Bygg är Sveriges ledande fabriksproducerade höghusleverantör. De har specialiserat sig på volymproduktion. Volymerna produceras i skydd från väder och vind i deras moderna produktionshall. Volymerna tillåter upp till sju våningar, men ännu har de endast byggt mellan två till sex våningar. Fördelen med volymbyggnad är den mycket korta byggtiden på arbetsplatsen.



Figur 12 & 13 Lindbäcks Bygg – Volymproduktion

3.4 Metsäwood

Metsäwood är ett företag som erbjuder olika träprodukter. De hör till den stora Metsäliittokoncernen som fungerar i 30 länder.

Metsäwood har ett eget trähöghuskoncept som använder sig av LVL-pelare och mellanbjälklageelement gjorda av LVL. De använder sig av stora LVL-skivor för stabiliseringen av höghuset.



Figur 14 & 15 Metsäwood - Pelarbalkstomme (Kortteli Helsinkiin - Metsäwood Oy, 2011)

3.5 Eridomic Oy

Eridomic är ett företag från Pälkäne i mellersta Finland. De hör till Stora Ensokoncernen. Eridomic arbetar med både planering av CLT-skivor och har de en egen produktionshall där de bearbetar elementen.



Figur 16 Eridomic Oy – CLT Element (Eridomic Oy, 2011)

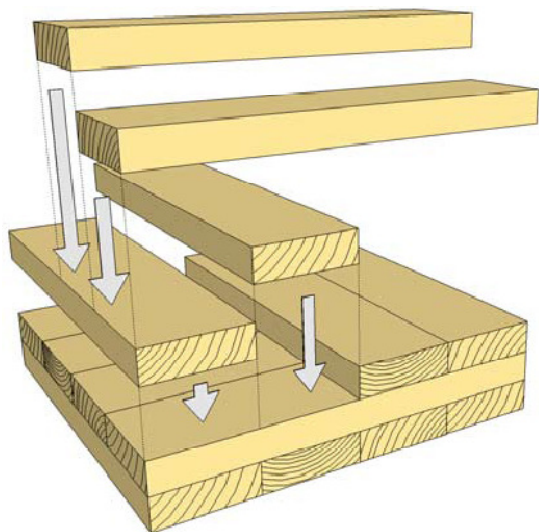
4 Tillverkning av stomkomponenter

4.1 CLT-träskiva

CLT-skivan är en stor massiv träskiva som är gjorda av trälameller. Den används oftast som både väggar samt mellanbjälklag. Lamellerna är oftast av vanligt virke klass C24 men kan vid behov bytas ut.

4.1.1 Tillverkning

CLT-träskivan tillverkas genom att man limmar ihop lameller av trä både längs med skivan samt tvärs över. Lamellerna tillverkas i olika tjocklekar som ger olika alternativa tjocklekar på den färdiga produkten. Den färdiga produkten kan vara uppbyggt av olikt antal lameller. Den färdiga skivan blir tillsågad och eventuella öppningar blir gjorda vid fabriken, oftast med datorstyrda maskiner.



Figur 17 – Principen för CLT (Cross-laminated timber panel school, 2010)

4.2 Pelare – balkstomme

Pelare-balkstommen använder sig av stora kraftiga pelare som bildar ett skelett för huset. Mellan pelarna finns det balkar som bär upp mellanbjälklagselementen som bildar golven i huset. Oftast är pelarna gjorda av limträ för dess höga måttnoggrannhet. Fördelen med bjälklagen av denna typ är att de har hål mellan de bärande balkarna där man kan dra hustekniken.



Figur 18 - Pelare – Balkstomme (Pelar-balkstommar – generellt)

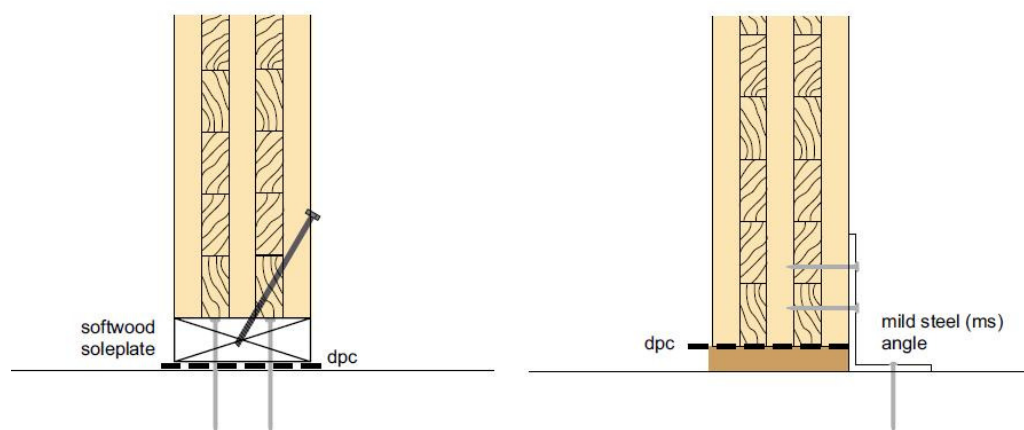
5 Anslutningsdetaljer för CLT-stomme

Här beskrivs de olika anslutningarna samt vad man ska beakta. Anslutningarna i CLT-konstruktionerna behöver dimensioneras mot tvärkrafterna i fogen. Anslutningarna utformas med kraftiga däckskruvar som binder ihop de olika skivorna.

5.1 Anslutning mellan grund och vägg

Anslutningen mellan grunden och ytterväggen är mycket lik en vanlig anslutning inom träbyggande. Man har en syll som fästes till grunden. Ytterväggen fästes till syllen genom att skruvas fast eller med vinkeljärn. Syllen är delen som blir kritisk i denna anslutning. Därför kan man använda sig av plywood för dess högre tryckhållfasthet vinkelrätt mot fibrerna.

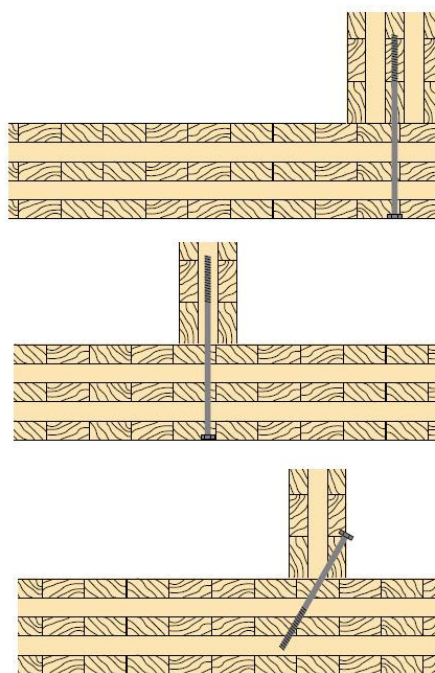
Byggtekniskt viktigaste i anslutningen är att beakta fukten och använda sig av fuktspärrar.



Figur 19 – Anslutning mellan grund och vägg (Cross laminated Timber series, 2009)

5.2 Anslutning mellan vägg och vägg

Anslutningen mellan vägg och vägg utförs enklast med kraftiga däckskruvar. Man ska dimensionera skruvarna för den tvärkraft som bildas i fogen. På bilden nedan ses en arbetare som drar in långa skruvar genom CLT-skivan som binder ihop skivan till den bakomvarande väggen. Anslutningen på detta vis är byggtekniskt mycket simpel. Dimensioneringen av skruvarna är enkla pga. att skivorna är massiva och det leder till att man får ut fulla kapaciteten för skruvarna med hänsyn på tvärkraft.



Figur 20 – Arbetare med skruvdragare *Figur 21 – Anslutning mellan väggar*
(Cross laminated Timber series, 2009)

5.3 Anslutningen mellan bjälklagselementen

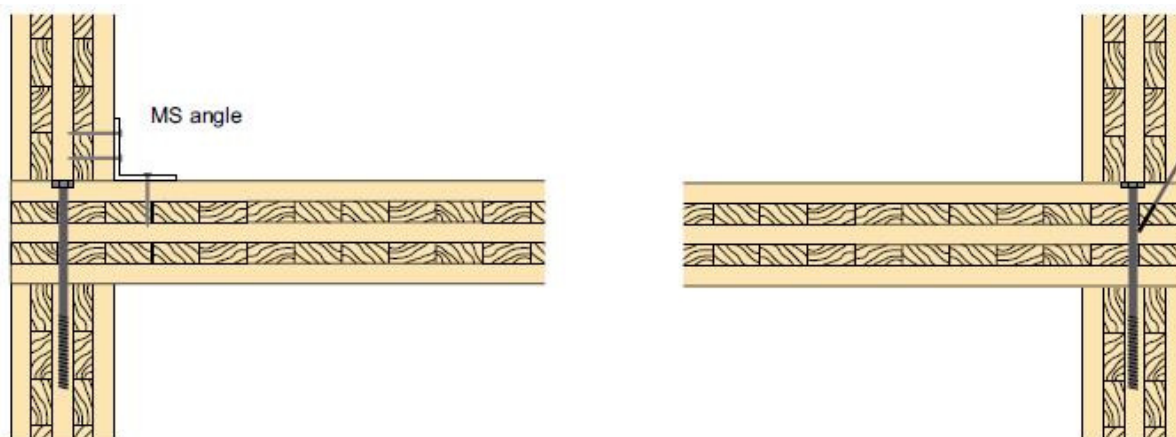
Anslutningen mellan bjälklagselementen dimensioneras att endast ta emot tvärkraften. Anslutningen tar alltså inte upp något moment, dvs. elementen har endast en bärande riktning.



Figur 22– Anslutning mellan bjälklagselement (Cross laminated Timber series, 2009)

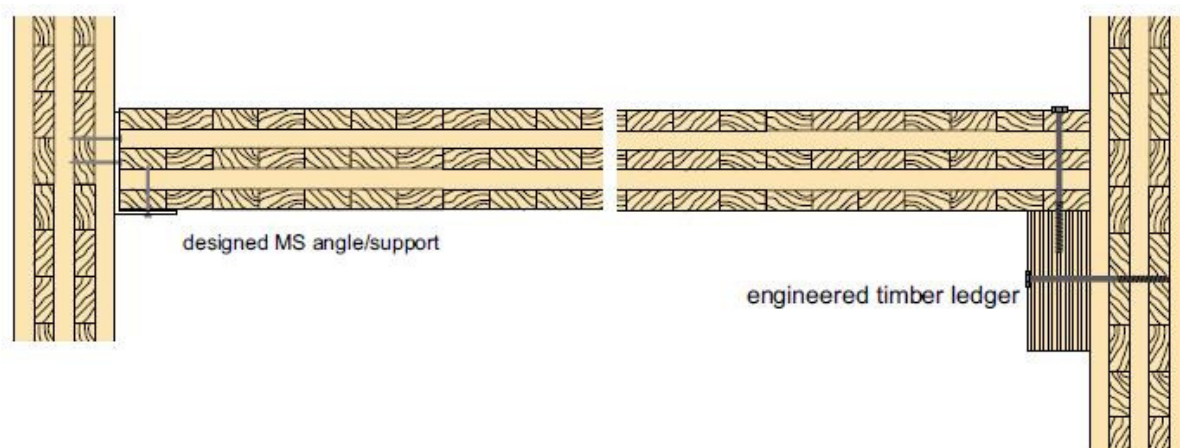
5.4 Anslutning mellan vägg och bjälklag

Det finns flera olika sätt att göra anslutningen mellan väggen och golvet. Det första alternativet används inom plattformsystemet, dvs att ytterväggarnas höjd bestämmer rummets höjd. Bjälklaget fungerar som en skiva som går hela vägen ut till ytterkanten av konstruktionen. Golvet används som arbetsplattform till nästa våning.



Figur 23 – Anslutning mellan vägg och bjälklag (Cross laminated Timber series, 2009)

Den andra typen av anslutning används om man har höga väggelement. Anslutningen använder sig av stålvinklar eller av en klack gjort i trä. Fördelen med denna anslutning är att man inte behöver beakta trycket på bjälklaget. Trycket mot bjälklaget kommer ju vinkelrätt mot fibrerna, alltså har materialet en betydligt lägre kapacitet mot denna kraft.



Figur 24 – Anslutning mellan vägg och bjälklag (Cross laminated Timber series, 2009)

6 Dimensionering av höghus med CLT-stomme

Det finns program som hjälper en vid beräkningen av CLT-skivor. Jag har använt mig av ett gratis program som hittas på www.clt.info. Programmet är tillverkat av ett företag vid namn Wallner Mild HolzbauSoftware.

Statistiskt sätt fungerar CLT-träskivorna mycket liknande betongelement. Skivan ska ta både hand om de lodräta krafterna från egenvikterna samt nyttolasterna och dessutom har den en stabiliserande uppgift. Man kan tänka sig att man delar upp de olika krafterna. Alltså man har de yttre väggarna och vissa av mellanväggarna att ta hand om de lodräta krafterna, sedan har man en ”kärna” som endast skall ta hand om de horisontella krafterna som uppstår av vinden.

Bjälklaget beräknas med Steiners sats med den skillnaden att man inte beaktar elementen som har fibrerna tvärsen mot bärriktningen. Man beaktar de tvärgående elementen med en reduktionsfaktor γ (gamma) som minskar den totala kapaciteten. I Bilaga 6 finns ett exempel på hur man tar fram böjmotståndet för ett bjälklag.

När man dimensionerar en vägg som tar man endast med de lagren som har fibrerna vinkelrätt mot upplaget. Så den effektiva arean av CLT-skivan blir reducerad. Dock brukar det inte bli något problem för syllen är den kritiska delen i anslutningen. Syllen dimensioneras med fullt tvärsnitt.

6.1 Ytterväggar

Ytterväggarna antas ta emot krafterna från vinden samt den lodräta kraft av egenvikterna + nyttolasterna från våningarna ovan. Alltså antas ytterväggarna inte ha en stabiliserande uppgift i detta fall. Ytterväggen dimensioneras som en tryckt och böjd vägg. När man har utlasterna dimensioneras väggen som tryckt stav med ett massivt tvärsnitt, knäckning skall beaktas i dimensioneringen. Sedan räknar man ut spänningen från momentet och man granskar spänningen från både normalkraften med avseende på knäckning och spänningen från momentet. Denna spänning får ej stiga högre än vad materialet klarar av.

Jag har använt mig av programmet för att testa lite vad materialet klarar av. I bilaga 1 har jag provat dimensionera en väg som är belastad med en dimensionerande normalkraft på 117,3 kN/löpmeter vägg samt en horisontelkraft från vinden på 0,72 kN/m². Programmet ger ut att ett lämpligt element för denna last skulle vara uppbyggd av tre stycken lameller på 30 mm var. Totala CLT-tjockleken skulle vara alltså 90 mm.

6.2 Stabiliserande väggar

Dessa väggar ska ta emot den stora horisontella kraft som vinden skapar. Man försöker en tillräckligt stor lodrät last på väggen så att hela tvärsnittet blir tryckt, dock är det inte alltid möjligt. Då måste man säkra anslutningen med dragstag i rostfritt stål.

Väggarna belastas endast med en lodrät kraft samt en kraftig horisontell last i elementets övre kant. Man skall försöka få en så stor lodrät kraft på detta element så den stora horisontella kraften inte skapar ett drag i elementets nedre kant. Går ej detta ska man vara mycket noga med anslutningen mellan elementet i fråga och dess underliggande stomme.

I bilaga 2 har jag provat dimensionera en skjuvvägg som belastas av en normalkraft på 9,8 kN/löpmeter vägg samt en horisontell kraft på 75 kN. Programmet anger att ett element uppbyggd av tre stycken lameller på 20 mm klarar av denna belastning samt att det inte bildas ett drag i ett av hörnen i undre kanten. Elementet som belastas är 2,95 m högt och 10 m långt.

6.3 Syll

Syllen brukar ofta bli en begränsande faktor när man använder sig av trä. När tvärsnitten är så massiva när man använder sig av CLT-skivor brukar den låga tryckhållfastheten vinkelrätt mot fibrerna inte skapa ett problem. Man ska dessutom beakta den horisontella kraften som vinden skapar.

I bilaga 3 har jag dimensionerat en syll mot trycket från ovanom liggande element.

6.4 Mellanbjälklag

Programmet har stöd för två olika typer av mellanbjälklag. Den första är av massiva CLT-skivor och den andra typen använder sig av CLT-skivor samt balkar på undre sidan av CLT-skivorna. Fördelen med den andra typen är mindre materialåtgång samt möjligheten att dra hustekniken mellan balkarna.

I bilaga 4 har jag dimensionerat ett bjälklag av massivt CLT med en spännvidd på tolv meter med två stycken sex meters spann. Golvet dimensioneras mot en egenvikt på $2,8 \text{ kN/m}^2$ egenvikt samt $3,0 \text{ kN/m}^2$ nyttolast. Programmet dimensionerar mot moment, tvärkraft, nedböjning, vibrationer och brand. Ett element uppbyggt av tre stycken lager på $60 \text{ mm} + 40 \text{ mm} + 60 \text{ mm}$ klarar av denna belastning.

I bilaga 5 görs en likande dimensionering. I detta fall har jag endast ett spann på tio meter. Programmet dimensionerar på liknande sätt som föregående exempel, men i detta fall använder man sig av balkar som limmas fast i CLT-skivan. Man kan klara mycket långa spännvidder med denna typ av bjälklag.

7 Sammanfattning

Troligtvis kommer trähöghusen att bli vanligare. Det största problemet som trähöghusen har haft på sistone är de hårda brandkraven. Nu när kraven har lättast blir trä ett nytt och lockande alternativ. I mellersta Europa har träbyggande varit länge på marknaden med mycket goda erfarenheter. Trähusen har den där speciella charmen som inte fås med ett ”dött” material. De goda egenskaperna fortsätter med träets förmåga att binda och ge ut fukt, det bidrar till ett trevligare inomhusklimat.

Jag hoppas att det inom snar framtid blir det möjligt att använda sig av träfiberisolering inom trähöghusbranschen, ännu är det inte tillåtet när man går över tre våningar. När man får använda sig av denna isolering kan man faktiskt börja tala om trähöghus och inte bara höghus med bärande stomme av trä.

Det som stör mig ännu lite är den fria användningen av trähöghus. Det finns ”trähöghus” som använder sig av en bärande stomme i betong och endast fasaden är av trä. Det anser jag själv inte som något trähöghus, endast en billig imitation som kan få kunden lurad.

De olika riktningarna inom höghuskoncepten är bra, men jag personligen tror att CLT kommer att vinna. CLT verkar vara ett konkurrenskraftigt material för höghus. Den ger möjlighet att bygga mycket höga hus i trä till ett konkurrenskraftigt pris.

Källförteckning

Cross laminated Timber series (2009) Trada – Timber Research and Development Association (pdf-fil)

Dakota L. (2012) Rakennusliikkeet varovaisia puukerrostalorakentamisessa, *Rakennustaito 2012 (01) 10-12*

Dakota L. (2012) Uutta oppimassa, *Rakennustaito 2012 (01) 13–15*

Eridomic Oy (2011) <http://www.eridomic.fi> (hämtat 20.01.2012)

Eurocode 5: Puurakenteiden suunnittelu

SFS-EN 1995-1-1:2004 + A1:2008 + AC:2006

Suomen Standardisoimisliitto SFS

+ Nationell bilaga till standard SFS-EN 1995-1-1:2007

Karjalainen, M. (1997) *Suomalainen puukerrostalo*. Opetushallitus

Kerrostalojärjestelmä (u.å)

<http://www.metsawood.fi/ammattirakentaminen/kerrostalojarjestelma/Pages/Default.aspx>

(hämtat 28.02.2012)

Kupianen J. (2011) Hybridikerrostalo puusta ja betonista *Rakennusmaailma 2011(10)16 - 19*

Lakea rakentaa puukerrostalo kortellin. *Kauppalehti* (21.12.2011), s. 15

Modernit puukaupungit (u.å.) <http://www.puuinfo.fi/modernit-puukaupungit>

(hämtat 21.02.2012)

Nordlund P (2010) *Stabilisering av höga trähus via centralt placerat hisschakt*

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

Luleå tekniska universitet, Institutionen för samhällsbyggnad

Avdelningen för byggkonstruktion

Luleå

Puuinfon Markku Karjalaisesta Työ- ja elinkeinoministeriön puurakentamisohjelman vetäjä

(30.12.2011) <http://www.puuinfo.fi/ajankohtaista/puuinfon-markku-karjalaisesta-tyo-ja-elinkeinoministerion-puurakentamisohjelman-vetaja>

(hämtat 21.02.2012)

Puukerrostalot Suomessa. (u.å) <http://www.puuinfo.fi/puukerrostalot-suomessa>
(hämtat: 16.02.2012)

Samuelsson E & Svensson I (2007) *Konceptuell utformning av bärande system i höghus*
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad
CHALMERS Tekniska högskola, Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik Göteborg

Siikanen U. (2008) *Puurakentaminen* Tampere, Rakennustieto

Smith B. S. & Coull A. (1991). *Tall Building Structures – Analysis and Design.* New York,
John Wiley & Sons, Inc

Stora Enso and SRV plan in co-operation to build a world-class Wood City (03.10.2011)
[http://www.storaenso.com/media-centre/press-releases/2011/10/Pages/stora-enso-and-srv-
plan.aspx](http://www.storaenso.com/media-centre/press-releases/2011/10/Pages/stora-enso-and-srv-plan.aspx) (hämtat: 27.03.2012)

Stora Enso Wood Products – CLT. (2008) <http://www.clt.info> (hämtat: 16.01.2012)

Bildkällor

Cross-laminated timber panel school (09.09.2010) [http://wood-
works.org/NR/rdonlyres/D797CC4A-5474-4149-970D-
3796DC9EC535/0/OpenAcademyTimberSolution.pdf](http://wood-works.org/NR/rdonlyres/D797CC4A-5474-4149-970D-3796DC9EC535/0/OpenAcademyTimberSolution.pdf) (pdf-fil) (hämtat: 27.03.2012)

Kortteli Helsinkiin - Metsäwood Oy (2011)
<http://www.metsawood.fi/ammattirakentaminen/kerrostalojarjestelma/Pages/KortteliHelsinkiin.aspx> (hämtat: 27.03.2012)

Pelარ-balkstommar – generellt (u.å.)
<http://www.traguiden.se/TGtemplates/popup1spalt.aspx?id=7442> (hämtat: 27.03.2012)

RKL Reponen Oy – Uutiset (18.11.2011) <http://www.rklreponen.com/pages/posts/puueravalmistui94.php> (hämtat 27.03.2012)

Stora Enso – Public buildings (2008) <http://www.clt.info/index.php?id=132&L=2>
(hämtat: 27.03.2012)

Design of CLT wall-elements

General

Service Class: **1**
Members in closed, heated areas

Fire: **R 30** **1**
single sided

Include additional exzentricity in burned XS

Element Buildup (standard)

Type: **Typ C**
90 C3s Coverlayer horizontal

System

Element height h **2,95 m**
Buckling length l_k **2,95 m**
Load exzentricity e_q **0,00 m**

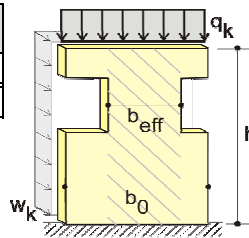
layer i	thickness di [mm]	orientation °	material
1	30,0	0	C24
2	30,0	90	C24
3	30,0	0	C24
4			
5			
6			
7			
8			
9			
d	90,0	3 s	C24

vertical load	Char.Value [kN/m]	Loadcode	
$q_{G,k}$	30,00	G	permanent loads
$q_{N,k}$	50,00	NA	A : domestic, residential areas
$q_{W,k}$	0,00	W	Wind loads
$q_{S,k}$	0,00	S2	Snow loads below 1000 m
Selfweight		$\rho_k =$	500 kg/m ³
g_k	1,33	1,35	0,60
q_d	117,29 kN/m		

Wind horiz.	Char.Value kN/m ²	
w_k	0,80	
w_d	0,72 kN/m²	

Wall openings

Width of load applic b_0 **1,00 m**
Net width b_{eff} **1,00 m**
Increase factor f_b **1,00 = b_0/b_{eff}**



Total	82 %
Buckling and Bending	50 %
Fire	82 %

Loadcode	γ [-]	k_{led} [-]	k_{mod} [-]	Combination Values		
				Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
G	1,35	permanent	0,60	-	-	-
NA	1,50	medium-term	0,80	0,70	0,50	0,30
W	1,50	short-term	0,90	0,60	0,20	-
S2	1,50	short-term	0,90	0,50	0,20	-

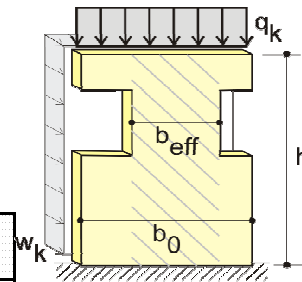
Design of CLT wall-elements

Design of CLT Elements according to Z-9.1-559:2007-2, DIN 1052:2008-12 and EN 1995-1-2

System

Service Class: 1
Members in closed, heated areas

Element height h 2,95 m
Buckling length l_k 2,95 m
Load exzentricity e_q 0,00 m



vertical load	char.Wert [kN/m]	γ [-]	k_{mod} [-]
$Q_{G,k}$	30,00	1,35	0,60
$Q_{N,k}$	50,00	1,50	0,80
$Q_{W,k}$	0,00	1,50	0,90
$Q_{S,k}$	0,00	1,50	0,90
Selfweight			
g_k	1,33	1,35	0,60
Q_d	117,29 kN/m		

Wind horiz.	char.Wert kN/m ²	γ_k [-]	ψ_0 [-]
w_k	0,80	1,50	0,60
w_d	0,72 kN/m²		

Wall openings

Width of load app: b_0 1,00 m
Net width b_{eff} 1,00 m
Increase factor f_b $1,00 = b_0 / b_{eff}$

Requirement Fire

R 30 single sided

Charring Rate $\beta_{0,wa}$ 0,63 mm/min
 $\beta_{0,wi}$ 0,86 mm/min

Additional exzentricity from burning not included

cross section

CLT 90 C3s

layer i	thickness d_i [mm]	burned d_i [mm]	orientation °	material
1	30,0	30,0	0	C24
2	30,0	30,0	90	C24
3	30,0	4,1	0	C24
4				
5				
6				
7				
8				
9				
d	90,0	64,1	3 s	C24

Design of CLT wall-elements

Design of CLT Elements according to Z-9.1-559:2007-2, DIN 1052:2008-12 and EN 1995-1-2

Verification of Ultimate Limit States

	qd	qk	kmod	Composition
q	117,29	81,33	0,80	$\gamma \cdot qG,k + \gamma \cdot qN,k$

Design one-meter section

		Design (cold)	fire design	
			η_{fi}	0,60
N_d		117,29 kN	$N_{d,fi}$	70,38 kN
$M_{d,w}$		0,78 kNm	$e_{z,fi}$	- cm
$M_{d,Ne}$		0,00 kNm	$M_{d,fi,Nez}$	- kNm
M_d		0,78 kNm	$M_{d,fi}$	0,47 kNm
l_k		2,95 m		
J_{eff}		5 305 cm ⁴	$J_{eff,fi}$	1 003 cm ⁴
A_{eff}		600 cm ²	$A_{eff,fi}$	341 cm ²
W_{eff}		1 264 cm ³	$W_{eff,fi}$	237 cm ³
radius of inertia	$i = \sqrt{J_{eff}/A_{eff}}$	2,97 cm	i_{fi}	1,72 cm
		$f_{c,0,k}$		
		21,00 N/mm ²		
		$f_{m,k}$		
		24,00 N/mm ²		
		$E_{0,05}$		
		7 333 N/mm ²		
		γ_M	$\gamma_{M,fi}$	1,00
		1,3 (EN 1995-1-1:2008)		
		k_{mod}	$k_{mod,fi}$	1,00
		0,80		
		γ_I		
		1,10		
Slenderness	λ	99	λ_{fi}	172
rel.slenderness	$\lambda_{rel,c}$	1,69	$\lambda_{rel,c,fi}$	2,93
factor	k	2,00	k	4,92
factor	β_c	0,10		
Bucklingfact.	$k_{c,y}$	0,33	$k_{c,y,fi}$	0,11
			k_{fi}	1,15
		$f_{c,0,d}$	$f_{c,0,d,fi}$	24,15 N/mm ²
		12,92 N/mm ²		
		$k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}$	$k_{c,y} \cdot f_{c,0,d,fi}$	2,72 N/mm ²
		4,22 N/mm ²		
		46 % $\sigma_{c,0,d}$	$\sigma_{c,0,d,fi}$	2,06 76 %
		1,95 N/mm ²		
		$f_{m,y,d}$	$f_{m,y,d,fi}$	30,36
		16,25 N/mm ²		
		4 % $\sigma_{m,y,d}$	$\sigma_{m,y,d}$	1,98 7 %
		0,62 N/mm ²		
		50 % $\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 100\%$		82 %

Design of CLT Elements as cross-walls

General

Service Class: Fire:
Members in closed, heated areas single sided

System

b m
h m

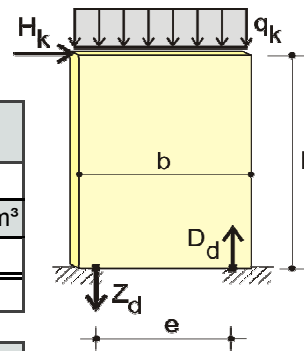
vertical load	Char.Value [kN/m]	Loadcode
$q_{G,k}$	10,00	G
Selfweight		$\rho_k = 500 \text{ kg/m}^3$
g_k	0,89	
$q_{G,d,inf}$	9,80 kN/m	

horizontal force	[kN]	
$H_{k,w}$	50,00	W
H_d	75,00 kN	

Inner lever arm for anchor
e m

Default: $e = 0,9 \cdot b$

Loadcode	γ_{inf} [-]	γ_{sup}	k_{led} [-]	k_{mod} [-]
G	0,90	1,35	permanent	<input type="text" value="0,60"/>
W		1,50	short-term	<input type="text" value="0,90"/>



Element Buildup (standard)

Typ
 Coverlayer horizontal

layer i	thickness di [mm]	orientation °	material
1	20,0	0	C24
2	20,0	90	C24
3	20,0	0	C24
4			
5			
6			
7			
8			
9			
d	60,0	3 s	C24

Total	8 %
Shear	8 %
Intersections	3 %
Fire	2 %

Results	
Serviceability	h / 5520
Anchor force	Z_d -24,40 kN

Design of CLT Elements as cross-walls

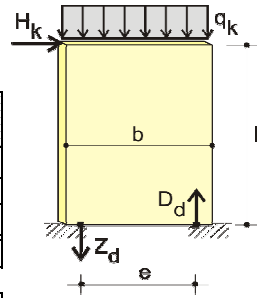
Design of CLT Elements according to Z-9.1-559:2007-2, DIN 1052:2008-12 and EN 1995-1-2

System

b 10,00 m
h 2,95 m

vertical load	Char.Value [kN/m]	γ [-]	k_{mod} [-]
$q_{G,k}$	10,00	0,90	0,60
Selfweight			
g_k	0,89	0,00	0,60
$q_{G,d,inf}$	9,80 kN/m		

horizontal force	[kN]		
H_k	50,00	1,50	0,90
H_d	75,00 kN		



Inner lever arm for anchor

e 9 m

Requirement Fire

Charring Rate

$\beta_{0,wa}$

R 30 single sided

0,63 mm/min

$\beta_{0,wi}$

0,86 mm/min

cross section

CLT 60 C3s

layer i	thickness d_i [mm]	burned d_i [mm]	orientation °	material
1	20,0	20,0	0	C24
2	20,0	14,1	90	C24
3	20,0	0,0	0	C24
4				
5				
6				
7				
8				
9				
d	60,0	34,1	3 s	C24

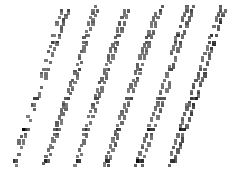
Design of CLT Elements as cross-walls

Design of CLT Elements according to Z-9.1-559:2007-2, DIN 1052:2008-12 and EN 1995-1-2

Verification of Ultimate Limit States

shear failure of the full wall

H_d	75,00 kN	$f_{v1,k}$	3,50 N/mm ²
		k_{mod}	0,90
A brutto	6 000 cm ²	γ_M	1,3 (EN 1995-1-1:2008)
8 % $T_{1,d}$	0,19 N/mm ²	$f_{v1,d}$	2,42 N/mm ²



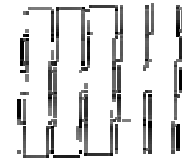
Shear stresses in the intersection areas

a_{ref}	20 cm	Size of intersections (i)	
crossdirection	2 shear sections		
In width direction	50 areas		
In height direction	14 Felder		
	1400 Stk		
Assumed moment to be transmitted by glue over all intersections			
$\Sigma M_{T,d}$	221,25 kNm	Total	= $H_d \cdot h$
Split to intersections			
$M_{T,d,i}$	0,16 kNm	Intersection moment (maximum)	
$I_{p,i}$	26 667 cm ⁴	polar moment of inertia (i)	
		$f_{T,k}$	2,50 N/mm ²
3 % $T_{T,d}$	0,06 N/mm ²	$f_{T,d}$	1,73 N/mm ²



shear failure in the joints

H_d	75,00 kN		
$b_{0,eff}$	40 mm	$f_{v2,k}$	8,00 N/mm ²
$b_{90,eff}$	20 mm		
A netto,90	20 000 cm ²		
1 % $T_{2,d}$	0,06 N/mm ²	$f_{v2,d}$	5,54 N/mm ²



Fasteners

M_d	221,25 kNm	$F_{Z,d} = \frac{F_d \cdot h}{e} - \frac{N_d}{2}$	$F_{D,d} = \frac{F_d \cdot h}{e} + \frac{N_d}{2}$
N_d	97,97 kN		
Tension force $F_{Z,d}$	-24,40 kN	transmitted by fasteners	
Compr.Force $F_{D,d}$	73,57 kN	b_{eff}	4,00 cm
for pressing at support:		$f_{c,0,k}$	21,00 N/mm ²
requ. d	0,23 m	$f_{c,0,d}$	16,15 N/mm ²

Verification of Serviceability Limit States

Shear force per meter

$n_{xy,d}$	7,50 kN/m	$n_{xy,d} = \frac{H_d}{b}$	horizontal stiffness
D_{xy}	41 400 kN/m		
γ_{xy}	0,018%	shearing strain	$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G_{xy}} = \frac{n_{xy}}{D_{xy}}$
Approximation for shear-wall displacement			
u_x	0,53 mm	displacement	$u_x = \gamma_{xy} \cdot h$
	$h / 5520$		

Design of CLT Elements as cross-walls

Design of CLT Elements according to Z-9.1-559:2007-2, DIN 1052:2008-12 and EN 1995-1-2

Fire Limit States

η_{fi}	0,60	$\gamma_{M,fi}$	1,00
H _{fi}	45 kN	$k_{mod,fi}$	1,00
$\Sigma M_{T,fi}$	133 kNm	k_{fi}	1,15
A brutto,fi	3 410 cm ²		
b _{0,fi,eff}	20 mm		
b _{90,fi,eff}	14,1 mm		
A netto,fi,90	14 100 cm ²		
crossdirection	1 shear sections		
	700 Stk		
$M_{T,fi,i}$	0,19 kNm		
0 % T _{1,fi}	0,20 N/mm ²	$f_{v1,fi}$	4,03 N/mm ²
2 % T _{T,fi}	0,07 N/mm ²	$f_{T,fi}$	2,88 N/mm ²
1 % T _{2,d}	0,05 N/mm ²	$f_{v2,fi}$	9,20 N/mm ²
2 %			

Verification of linear supports in CLT-Elements (sleepers)

General

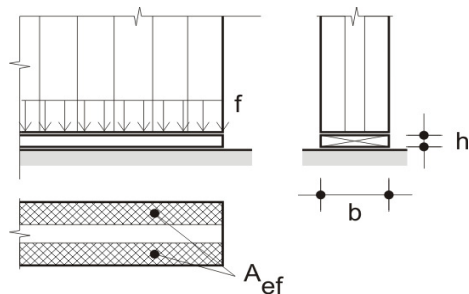
Service Class: **1** Brand: **R 30** **1**
Members in closed, heated areas single sided

System

Element Buildup (standard)

Type: Typ C
60 C3s Coverlayer horizontal

layer i	thickness di [mm]	orientation °	material
1	20,0	0	C24
2	20,0	90	C24
3	20,0	0	C24
4			
5			
6			
7			
8			
9			
d	60,0	3s	C24



Sleeper: material: **C24**
b: 6,0 cm
h: 3,0 cm

Total	54 %
Pressing CLT	10 %
Pressing Sleeper	54 %
Fire	24 %

Force at support	F_k [kN/m]		
Fg	15,00	G	permanent loads
Fn	16,00	NA	A : domestic, residential areas
Fw	5,00	W	Wind loads
Fs	10,00	S2	Snow loads below 1000 m

	γ [-]		k_{mod} [-]	Combination Values		
				ψ_0	ψ_1	ψ_2
G	1,35	permanent	0,60	-	-	-
NA	1,50	medium-term	0,80	0,70	0,50	0,30
W	1,50	short-term	0,90	0,60	0,20	-
S2	1,50	short-term	0,90	0,50	0,20	-

Verification of Ultimate Limit States

Basic Value	Fd	Fk	k_{mod}	Composition
Fd	56,55	39,20	0,90	$\gamma \cdot F_g + \gamma \cdot F_s + \gamma \cdot \psi_0 \cdot F_n + \gamma \cdot \psi_0 \cdot F_w$

Verification of pressure in vertical CLT layers

Excess length CLT

b_{eff} 4,00 cm effective with of vertical Layers

$b_{eff,net}$ 4,00 cm Net with of vertical Layers

A_{ef} 400 cm²

$f_{c,0,k}$ 21,00 N/mm²

10 % $\sigma_{c,0,d}$ 1,41 N/mm² $f_{c,0,d}$ 14,54 N/mm²

Verification of linear supports in CLT-Elements (sleepers)

Verification of pressure in the sleeper

l_{ef}	100,00 cm		
b_{ef2}	6,00 cm	width CLT/Sleeper	
A_{ef2}	600 cm ²	effektive pressing area	
$k_{c,90}$	1,25	Coeff. for pressure perp.to grain	
		$f_{c,90,k}$	2,50 N/mm ²
		k_{mod}	0,90
		γ_m	1,30 (EN 1995-1-1:2008)
54 %	$\sigma_{c,90,d}$	0,94 N/mm ²	$f_{c,90,d}$ 1,73 N/mm ²

Verification of Fire Limit States

Charring Rate β_0 0,65 mm/min

Cross-Section after fire

layer i	burned di [mm]	orientation °	material
1	20,0	0	C24
2	13,5	90	C24
3	0,0	0	C24
4			
5			
6			
7			
8			
9			
d	33,5		C24

F_{fi}	Accidental Design Situations Composition
F_{fi}	23,00 $F_g + \psi_1 \cdot F_n$

Verification of pressure in vertical CLT layers

$b_{eff,fi}$	2,00 cm	$\gamma_{M,fi}$	1,00
$A_{ef,fi}$	200 cm ²	k_{fi}	1,15
		$k_{mod,fi}$	1,00

5 % $\sigma_{c,0,fi}$ 1,15 $f_{c,0,fi}$ 24,15 N/mm²

Verification of pressure in the sleeper

$b_{ef2,fi}$	3,35 cm		
A_{ef2}	335 cm ²		
24 %	$\sigma_{c,90,fi}$	0,69 N/mm ²	$f_{c,90,fi}$ 2,88 N/mm ²

General

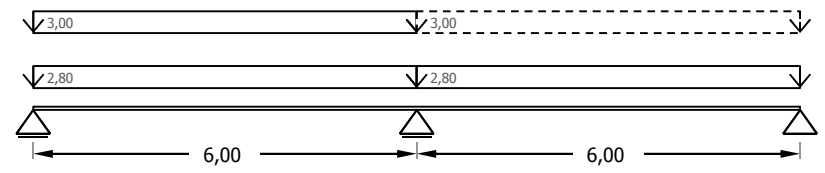
Service Class: **1**
Members in closed, heated areas

Fire: **R 30** **1**
single sided

Serviceability: Appearance *Quasi-permanent combination*
 Avoid Damages *Characteristic combination*
 including g inst

Include cantilever upward deflection

Vibration design *Loosened requirement*



System

Loadgroups						
Caption		Selfweight	Liveload	Wind	Snow	
Loadgroup		G	N	W	S	
Loadcode		G	NA	W	S2	
Dimensions						
Uniform loads						
span	Li [m]	g _{1,k} [kN/m]	g _{0,k} +g _{1,k} [kN/m]	η _k [kN/m]	w _k [kN/m]	s _k [kN/m]
			g[0,k] = 0,80			
Cantivr. Lft.						
span 1	6,00	2,00	2,80	3,00		
span 2	6,00	2,00	2,80	3,00		
span 3						
span 4						
span 5						
span 6						
span 7						
Cantivr. Rght.						

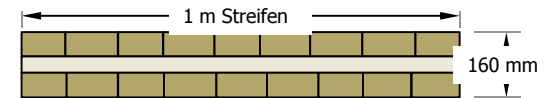
Loadapp. full spanwise full full

Single loads		First single load		Second single load	
span	Loadgroup	x _F [m]	F _k [kN]	x _F [m]	F _k [kN]
Cantivr. Lft.					
span 1					
span 2					
span 3					
span 4					
span 5					
span 6					
span 7					
Cantivr. Rght.					

Element Buildup (standard)

Type: Typ L
 Buildup: 160 L5s - 2 Coverlayer perp. to span axis

layer i	thickness d _i [mm]	orientation °	material
1	60,0	0	C24
2	40,0	90	C24
3	60,0	0	C24
4			
5			
6			
7			
8			
9			
d	160,0	3 s	C24



Total	71 %
Bending	56 % span 1, x/l = 1,00
Shear	40 % span 1, x/l = 1,00
Serviceability	
Appearance	59 % span 2, x/l = 0,60
Avoid Damages	53 %
Vibration	OK
Fire	34 %

Brand: Berücksichtigung schützender Lagen unten

Keine t ch **0,00** min



Design of CLT floor elements

Design of CLT Elements according to Z-9.1-559:2007-2, DIN 1052:2008-12 and EN 1995-1-2

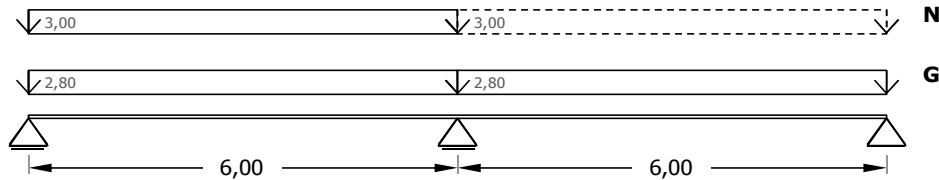
General

Service Class: 1
Members in closed, heated areas
Fire: R 30 single sided
Serviceability:

[x] Appearance Quasi-permanent combination
[x] Avoid Damages Characteristic combination

Standards referenced
Zulassung Z-9.1-559:2007-02
DIN 1052:2004-08
EN 1995-1:2004-11
EN 1995-1-2+AC:2006-06
EN 1995-1-1:2008

System



cross section

CLT 160 L5s - 2

layer i	thickness d _i [mm]	burned (HFA 5/11)	orientation °	material
1	60,0	60,0	0	C24
2	40,0	40,0	90	C24
3	60,0	33,5	0	C24
4				
5				
6				
7				
8				
9				
d	160,0	133,5	3 Schichten	C24

Coefficients	Loadcode	γ	k _{led}	k _{mod}	ψ 0	ψ 1	ψ 2
G	G	1,35	permanent	0,6	-	-	-
N	NA	1,5	medium-term	0,8	0,70	0,50	0,30
W	W	1,5	short-term	0,9	0,60	0,20	0,00
S	S2	1,5	short-term	0,9	0,50	0,20	0,00

Design values of actions

ULS		Value	span	position x/l	k-mod	Length	Zusammensetzung
V _D [kN]	max	31,05	span 2	0,00	0,80	6,00	gd {14,18}[γ·gk {10,50}] + comb2 {16,88}[γ·n{11,25}[n1,k {1,13}+n2,k {10,13}]]
	min	-31,05	span 1	1,00	0,80	6,00	gd {-14,18}[γ·gk {-10,50}] + comb2 {-16,88}[γ·n{-11,25}[n1,k {-10,13}+n2,k {-1,13}]]
M _D [kNm]	max	24,92	span 1	0,40	0,80	6,00	gd {9,53}[γ·gk {7,06}] + comb2 {15,39}[γ·n{10,26}[n1,k {10,26}]]
	min	-37,26	span 1	1,00	0,80	6,00	gd {-17,01}[γ·gk {-12,60}] + comb2 {-20,25}[γ·n{-13,50}[n1,k {-6,75}+n2,k {-6,75}]]

SLS	k _{def} = 0,60	span				cantilever			
		Value	span	position x/l	Length	Value	span	position x/l	Length
quasi-permanent (guarantee useability and appearance)									
EJ·w _{fin}	max	47,96	span 2	0,60	6,00			0,00	0,00
	min	-0,28	span 1	0,90	6,00			0,00	0,00
rare (avoid damage at members below)									
EJ·w _{Q,inst}	max	35,44	span 1	0,50	6,00			0,00	0,00
	min	-15,55	span 1	0,60	6,00			0,00	0,00
w _{inst} - w _{inst}	max	53,16	span 1	0,50	6,00			0,00	0,00



Design of CLT floor elements

Design of CLT Elements according to Z-9.1-559:2007-2, DIN 1052:2008-12 and EN 1995-1-2

***fin	***G,inst	min	-10,20	span 2	0,30	6,00		0,00	storaenso	0,00
--------	-----------	-----	--------	--------	------	------	--	------	-----------	------



Design of CLT floor elements

Design of CLT Elements according to Z-9.1-559:2007-2, DIN 1052:2008-12 and EN 1995-1-2

Cross-section Values Reference length for cross-section values in beams over two spans : $l^* = 4/5 \cdot l$
Element: 160 L5s - 2

	Ref.length	XS-Values
A_{eff}	-	1 200 cm ²
$J_{eff,F}$	4,80 m	30 552 cm ⁴
$J_{eff,K}$	0,00 m	- cm ⁴
W_{eff}	4,80 m	4 078 cm ³

	Comp.to full cross-section	
75% von	A_{tot}	1 600 cm ²
90% von	$J_{tot,F}$	34 133 cm ⁴
	$J_{tot,K}$	34 133 cm ⁴
96% von	W_{tot}	4 267 cm ³

Calculation as semi-rigid composite

Verification of Ultimate Limit States

Bending

span 1, $x/l = 1,00$

	M_D	-37,26 kNm	$f_{m,k}$	24 N/mm ²
			γ_M	1,3 (EN 1995-1-1:2008)
			k_{mod}	0,8
			k_t	1,1 system value
56 %	$\sigma_{m,y,d}$	9,14 N/mm ²	$f_{m,y,d}$	16,25 N/mm ²

Shear stress

span 1, $x/l = 1,00$

	V_D	-31,05 kN		
	I^*	4,8 m		
	S_{eff}	3 000 cm ³	$f_{R,k}$	1,25 N/mm ²
40 %	$\tau_{v,d}$	0,30 N/mm ²	$f_{v,d}$	0,77 N/mm ²

Verification of Serviceability Limit States

Displacements

Cantilever upward deflection not included

59 %	$E_{0,mean}$	11 000 N/mm ²
	γ_M	1,0

	J_{eff} [cm ⁴]	w [mm]	L^* [m]	zul f	w_{max} [mm]		
59 %	Appearnc. w_{fin} span 2, $x/l = 0,60$	30 552	14,3	6,00	l / 250	24,0	59 %
		-	0,0	0,00	l / 125	0,0	0 %
	Demages $w_{Q,inst}$ span 1, $x/l = 0,50$	30 552	10,5	6,00	l / 300	20,0	53 %
		-	0,0	0,00	l / 150	0,0	0 %
53 %	$w_{fin} - w_{G,inst}$ span 1, $x/l = 0,50$	30 552	15,8	6,00	l / 200	30,0	53 %
		-	0,0	0,00	l / 100	0,0	0 %

load displacements

span 2, $x/l = 0,60$

	span 2, $x/l = 0,60$	
	max	min
w G,k	5,8	5,8 mm
w N,k	10,3	-4,0 mm
0		

Design of CLT floor elements

Design of CLT Elements according to Z-9.1-559:2007-2, DIN 1052:2008-12 and EN 1995-1-2

Vibrations in residential floors

OK	Construction:		
	D	3 %	damping
	(EI) _b	0,271 MNm ² / m	stiffness in with direction (perpendicular to span)
	(EI) _l	3,361 MNm ² / m	stiffness in longitudinal direction (in direction of span)
	span	span 2	
	l	6,00 m	
	b	7,50 m	Floor dimension in width direction
	1. Avoid resonance from frequent actions		
	1.1 Frequency Requirement		
	m _{perm}	377 kg/m ²	uniform mass (g + Σ ψ ₂ · q _j) / 9,81
	Unit load (1 kN) at point of max. deflection		
	Quasi-permanent situation		
	EJ·w _{1kN}	3 kNm ³	span 2, x/l = 0,60 Deflection value from unit load
	w _{1kN}	0,93 mm	Deflection from unit load
	c	1,1E+06 N/m	reference stiffness for one mass oscillator
	M*	1 207 kg	generalised mass
	k _Q	1,02	Stiffnes in perpendicular direction
	f _{1,EN}	4,19 Hz	for one span (as in EN 1995-1-1:2004, Equ. 7.5)
	> f ₁	4,34 Hz	general calculation from one mass oscillator
OK	f _{grenz}	8,00 Hz	
0 %	Requirement not met: continue with clause 1.2		
	1.2. Acceleration requirement for low frequencies f < 8 Hz		
	α ₂ bzw. α ₃	0,2	
	b _{m,stat}	2,91 m	participating width
	M _{gen}	3289 kg	generalised mass
	f _F	4,34 Hz	
	f _{grenz}	4,00 Hz	Frequency limit against resonance (Requirement met)
OK	a	0,28 m/s ²	Requirement met
71 %	a _{grenz}	0,40 m/s ²	
	2. Avoid vibrations from impulses of longer duration (steps)		
	· Displacement requirement (Stiffness)		
	Vibrations in neighbour span of continuous beams are NOT DISTURBING		
	f _D	1,25	Damping factor
OK	w _{EF}	0,46 mm	effective deflection (EN 1995-1-1:2008)
26 %	w _{grenz}	1,75 mm	deflection limit
	3. Avoid vibrations by impulses of short duration (heel drop)		
	· Mass requirement	standard	alternative requirment (informative)
	v	1,08 mm/s	31,63 mm/s
OK	v _{grenz}	6,07 mm/s	109,31 mm/s
18 %			29 %
	Informative: Deflection requirement from DIN 1052:2004		
	w _{perm}	8,92 mm	
(149%)	w _{p,grenz}	6,00 mm	(equal to 7.4 Hz)



Design of CLT floor elements

Design of CLT Elements according to Z-9.1-559:2007-2, DIN 1052:2008-12 and EN 1995-1-2

Fire Limit States

β_0 R 30 single sided
0,65 mm/min

storaenso
with the frequent value of Q1

FIRE		Value	span	position x/l	k mod	Length	
V_{fi} [kN]	max	16,13	span 2	0,00	0,80	6,00	$g_k \{10,50\} [g_k \{10,50\} + \text{comb2} \{5,63\} [\psi_1 \{0,50\} \cdot n \{11,25\} [n_1, k \{1,13\} + n_2, k \{10,13\}]]]$
	min	-16,13	span 1	1,00	0,80	6,00	$g_k \{-10,50\} [g_k \{-10,50\} + \text{comb2} \{-5,63\} [\psi_1 \{0,50\} \cdot n \{-11,25\} [n_1, k \{-10,13\} + n_2, k \{-1,13\}]]]$
M_{fi} [kNm]	max	12,19	span 1	0,40	0,80	6,00	$g_k \{7,06\} [g_k \{7,06\} + \text{comb2} \{5,13\} [\psi_1 \{0,50\} \cdot n \{10,26\} [n_1, k \{10,26\}]]]$
	min	-19,35	span 1	1,00	0,80	6,00	$g_k \{-12,60\} [g_k \{-12,60\} + \text{comb2} \{-6,75\} [\psi_1 \{0,50\} \cdot n \{-13,50\} [n_1, k \{-6,75\} + n_2, k \{-6,75\}]]]$

Bending

M_D	-19,35 kNm	$f_{m,k}$	24,00 N/mm ²
L^*	4,80 m	k_{fi}	1,15
W	1 899 cm ³	$\gamma_{M,fi}$	1,00
		k_l	1,1 system value
		$k_{mod,fi}$	1,00
34 % $\sigma_{m,y,d}$	10,19 N/mm ²	$f_{d,fi}$	30,36 N/mm ²

Shear stress

V_D	-16,13 kN		
I_{eff}	7 755,92 cm ⁴		
S_{eff}	1 864,89 cm ³	$f_{R,k}$	1,25 N/mm ²
27 % $\tau_{v,d}$	0,39 N/mm ²	$f_{v,fi}$	1,44 N/mm ²

Support forces for load transmission

Support	max			min		
	Char.Value	$\gamma (\cdot \psi)$	k_{mod}	Char.Value	$\gamma (\cdot \psi)$	k_{mod}
A G,k	6,30		0,60	6,30		0,60
A N,k	7,88		0,80	-1,13		0,80
A k	14,18	1,43	0,80	5,18	1,32	0,80
B G,k	21,00		0,60	21,00		0,60
B N,k	22,50		0,80	0,00		0,60
B k	43,50	1,43	0,80	21,00	1,35	0,60
C G,k	6,30		0,60	6,30		0,60
C N,k	7,88		0,80	-1,13		0,80
C k	14,18	1,43	0,80	5,18	1,32	0,80



Design of CLT floor elements

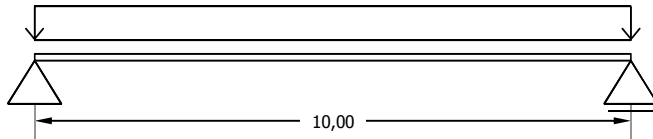
Design of CLT Elements according to Z-9.1-559:2007-2, DIN 1052:2008-12 and EN 1995-1-2

Design of CLT Elements with ribs

Zulassung Z-9.1-559:2007-02
DIN 1052:2008-12
EN 1995-1:2004-11
EN 1995-1-2+AC:2006-06

Service Class
NKL

Appearance
 Avoid Damages
 including g inst
 Include upward deflections



System

	lengths [m]	actions				
		dead load g 1,k	total deadload g 1,k + g 0,k	Liveload nk	Snow sk	Wind wk
		Char.Value [kN/m ²]				
c1	-	1,50	2,39	2,00	-	-
ø1	10,00	1,50	2,39	2,00	-	-
ø2	-	1,50	2,39	2,00	-	-
c2	-	1,50	2,39	2,00	-	-
		Loadcode	G	NA	S2	W
		Description	permanent loads		Snow loads below 1000 m A : domestic, residential area	
			g 0,k		0,89 kN/m ²	

(left cantilever missing) span1
(span2 missing)
(right cantilever missing)

CLT element

Typ L CLT
140 L5s

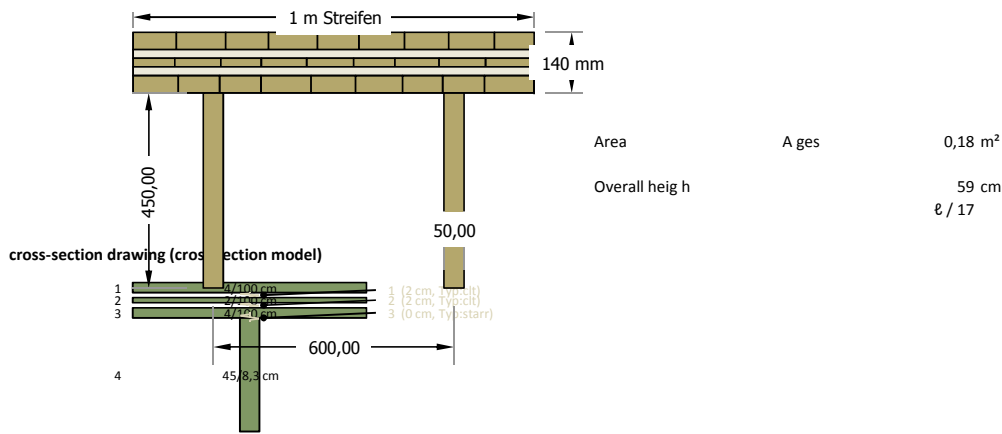
layer i	thickness di [mm]	orientation °	class
1	40,0	0	C24
2	20,0	90	C24
3	20,0	0	C24
4	20,0	90	C24
5	40,0	0	C24
6			
7			
8			
9			
d	140,0	5 Schichten	C24

Results	
Ultimate States	75 %
edge stresses	54 %
normal stresses	41 %
shear stresses	58 %
glue lines	75 %
Serviceability	38 %
Deflection	38 %
Vibration	OK
required connection resistance (for each rib)	
per top rib	erf. Rd 0,00 kN
per bottom rib	erf. Rd 0,00 kN

Design of CLT Elements with ribs

Zulassung Z-9.1-559:2007-02
DIN 1052:2008-12
EN 1995-1:2004-11
EN 1995-1-2+AC:2006-06

cross-section drawing



ribs

<input type="checkbox"/>	top rib	no	
<input checked="" type="checkbox"/>	bottom rib	yes	
	b u	5,0 cm	
	h u	45,0 cm	
	f u	60,0 cm	
	Klasse	GL32c	
Verbindungsmitel:			
<input checked="" type="checkbox"/>	adhesive bond		
<input checked="" type="checkbox"/>	connector		
	K u	1,000E+10 N/mm	stiffnes
	s	=K ser	
		1,000E+10 N/mm	
		200 mm	equivalent distance

Design of CLT Elements with ribs

Zulassung Z-9.1-559:2007-02
DIN 1052:2008-12
EN 1995-1:2004-11
EN 1995-1-2+AC:2006-06

Calculation

load characteristics

	Char.Value [KN/m]	Loadcode	Safety γ	Loadduration		Combination Values		
				kled	kmod	ψ_0	ψ_1	ψ_2
g 1,k + g 0,k	2,39	G	1,35	permanent	0,60	-	-	-
nk	2,00	NA	1,50	medium-term	0,80	0,70	0,50	0,30
sk	-	S2	1,50	short-term	0,90	0,50	0,20	-
wk	-	W	1,50	short-term	0,90	0,60	0,20	-

ultimate limit state design situation

Support	load case (load group)				load combination			
	gk	nk	sk	wk	Dsgn.Value	corr.char.val.	k mod	Composition
A V	11,94	10,00	-	-	31,12	21,94	0,80	$\gamma \cdot g_{1,k} + g_{0,k} + \gamma \cdot nk$
B V	11,94	10,00	-	-	31,12	21,94	0,80	$\gamma \cdot g_{1,k} + g_{0,k} + \gamma \cdot nk$
C V	-	-	-	-	-	-	0,60	

Moment

max M AB	29,84	25,00	-	-	77,79	54,84	0,80	$\gamma \cdot g_{1,k} + g_{0,k} + \gamma \cdot nk$
min M A	-	-	-	-	-	-	0,60	

Transverse force

max V A,RE	11,94	10,00	-	-	31,12	21,94	0,80	$\gamma \cdot g_{1,k} + g_{0,k} + \gamma \cdot nk$
min V B,LI	-11,94	-10,00	-	-	-31,12	-21,94	0,80	$\gamma \cdot g_{1,k} + g_{0,k} + \gamma \cdot nk$

deflections

max w AB	7,58	6,35	-	-	Feld 1			
min w BC	-	-	-	-				

serviceability limit state design situation

span kdef	Char.Value w vorh [mm]	Composition	allowed deflection		Utilisation
			$\ell = 10,00$	w zul [mm]	
Quasi-permanent situation					
w fin	15,2	$(g_{1,k} + g_{0,k} + \psi_2 \cdot nk) \cdot (1 + k_{def})$	$\ell / 250$	40,0	38%
characteristic design situation					
w Q,inst	6,4	nk	$\ell / 300$	33,3	19%
w fin	12,0	$g_{1,k} + g_{0,k} \cdot k_{def} + nk \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def})$	$\ell / 200$	50,0	24%
char.design situation including selfweight					
w inst	13,9	$g_{1,k} + g_{0,k} + nk$	$\ell / 300$	33,3	(42%)
w creep	5,7	$(g_{1,k} + g_{0,k} + \psi_2 \cdot nk) \cdot k_{def}$			
w fin	19,6	$(1 + k_{def}) \cdot g_{1,k} + g_{0,k} + (1 + k_{def} \cdot \psi_2) \cdot nk$	$\ell / 200$	50,0	(39%)

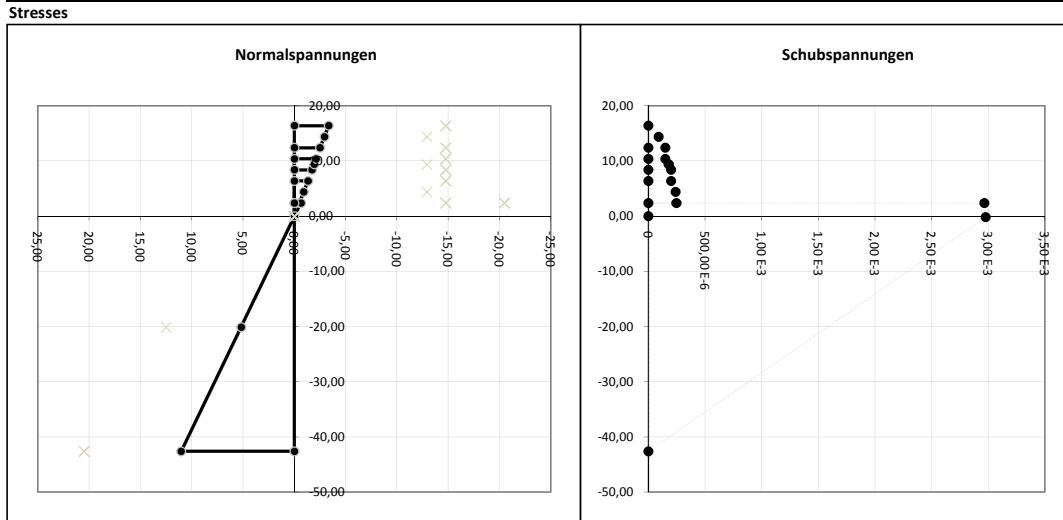
cantilever Upward deflections ignored	Char.Value w vorh [mm]	Composition	allowed deflection		Utilisation
			$\ell = 0,00$	w zul [mm]	
Quasi-permanent situation					
w fin	-	$(g_{1,k} + g_{0,k}) \cdot (1 + k_{def})$	$\ell / 125$	-	0%
characteristic design situation					
w Q,inst	-		$\ell / 150$	-	0%
w fin	-	$g_{1,k} + g_{0,k} \cdot k_{def}$	$\ell / 100$	-	0%
char.design situation including selfweight					
w inst	-	$g_{1,k} + g_{0,k}$	$\ell / 150$	-	0%
w creep	-	$(g_{1,k} + g_{0,k}) \cdot k_{def}$			
w fin	-	$(1 + k_{def}) \cdot g_{1,k} + g_{0,k}$	$\ell / 100$	-	0%

design forces

M d	77,79 kNm	Moment	k mod,Md	0,8 -
V d	31,12 kN	Querkraft	k mod,Md	0,8 -

Design of CLT Elements with ribs

Zulassung Z-9.1-559:2007-02
DIN 1052:2008-12
EN 1995-1:2004-11
EN 1995-1-2+AC:2006-06



calculation details

reference len_l 10,00 m (= ℓ1)

part		Details								
i	h	b	E	MAT	γ _m	f _{v,k}	f _{m,k}	f _{t,0,k}	f _{c,0,k}	
[-]	[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	
1	40,0	1 000	11 000	C24	1,30	2,00	24,00	14,00	21,00	
2	20,0	1 000	11 000	C24	1,30	2,00	24,00	14,00	21,00	
3	40,0	1 000	11 000	C24	1,30	2,00	24,00	14,00	21,00	
4	450,0	83	13 700	GL32c	1,25	2,50	32,00	19,50	26,50	

joints		Details				
j	e _{Joint}	c _{JointSer}	c _{JointU}	Type (index)	Type (name)	
[-]	[mm]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[-]	
1	20	2,500E+03	2,500E+03	5	CLT	
2	20	2,500E+03	2,500E+03	5	CLT	
3	0	1,000E+10	1,000E+10	1	bond	

parts		Results (C u)					
i	γ (u)	A _t	W _{min,r}	zugeh. z	W _{min,s}	zugeh. z	
[-]	[-]	[cm ²]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm]	
1	0,974	6 646	-31 008	96,5	-26 586	112,6	0
2	0,987	4 996	-45 099	66,4	-40 232	74,4	0
3	1,000	4 044	-155 886	19,2	-84 892	35,3	0
4	0,990	336	-115 551	25,9	15 035	-199,1	0

parts		Verifications in ultimate limit (C u)								
i	τ _{V,d}	f _{V,d}	%	σ _{r,max,d}	f _{m,d}	%	σ _{n,max,d}	f _{{c t},0,d}	%	
[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[%]	
1	0,05	1,23	4 %	-3,34	14,77	23 %	-2,93	-12,92	23 %	
2	0,06	1,23	5 %	-2,14	14,77	15 %	-1,93	-12,92	15 %	
3	0,08	1,23	6 %	-1,33	14,77	9 %	-0,92	-12,92	7 %	



Design of CLT Elements with ribs

Zulassung Z-9.1-559:2007-02
DIN 1052:2008-12
EN 1995-1:2004-11
EN 1995-1-2+AC:2006-06

4	0,93	1,60	58 %	11,02	20,48	54 %	5,17	12,48	41 %
---	------	------	------	-------	-------	------	------	-------	------

Design of CLT Elements with ribs

Zulassung Z-9.1-559:2007-02
DIN 1052:2008-12
EN 1995-1:2004-11
EN 1995-1-2+AC:2006-06

joints		Ergebnisse ur						
j	S joint	τ joint,d	t joint,d	F joint,d	f V,d	%	erf. R k	
[-]	[cm ²]	[N/mm ²]	[kN/m]	[kN]	[N/mm ²]	[%]	[kN]	
1	4 504	0,05			0,77	6 %		
2	5 992	0,06			0,77	8 %		
3	7 402	0,92			1,23	75 %		

stiffnesses (C ser)

A eff	1 178 cm ²	I noComp	64 191 cm ⁴
I eff	299 306 cm ⁴	I rig	302 699 cm ⁴
	99 %		
E ref	13 700 N/mm ²		
z s	16,39 cm		

vibration design parameters

b y	12,00 m	ceiling width
h y	4,00 cm	effective height in cross direction
D	2 %	damping
Ib	533 cm ⁴	
Eb	26 000 N/mm ²	dynamic youngs modulus cross direction

vibration design results

a) EN 1995-1-1 frequency (8 Hz), stiffnes (1,5 mm/kN), impulse reaction (100)	!!!!
b) ÖNORM B 1995-1-1 acceleration: limit for impulse in the same room (0,4 m/s ²), stiffnes (1,5 mm/kN), impulse reaction (100)	OK
c) DIN 1052:2008 absolute deflection (6 mm)	!!!!
	OK

vibration design - calculation

EI l	41 005 kNm ²	longitudinal stiffness
EI b	139 kNm ²	transverse stiffness

1.a frequency criterion as in eurocode

m	305 kg/m ²	= (g + ψ 2 · n) / 9,81
frequency beam		
f'1	5,8 Hz	
frequency grillage		
k f1	1,001 factor for transverse stiffness	
!!!! f 1	5,8 Hz	f 1,limit 8,0 Hz

1.b. acceleration criterion (for frequencies lower than 8 Hz)

m	305 kg/m ²	= (g + ψ 2 · n) / 9,81
b F	2,19 m	
M gen	3 338 kg	= m · b F · ℓ
OK f 1	5,8 Hz	f 1,limit 5,00 Hz
α 3	0,06	floor frequencies lower than 5 Hz are not recommended
fF	5,8 Hz	
OK a	0,13 m/s ²	a limit 0,40 m/s ² limit for impulse in the same room

2. stiffness criterion

beam stiffness (unit force deflection)		
w' a	0,51 mm/kN	
stiffness grillage		deflection limit
b F	2,19 effective width from transverse stiffness	
OK w a	0,23 mm/kN	w a,limit 1,50 mm/kN

3. impulse reaction

n 40	13,0 -	
OK v	0,89 mm/s /Ns	b limit 100 (Bild 7.2.) v limit 17,01 mm/s /Ns
		limit



Design of CLT Elements with ribs

Zulassung Z-9.1-559:2007-02
DIN 1052:2008-12
EN 1995-1:2004-11
EN 1995-1-2+AC:2006-06

4. frequency criterion as in DIN

	quasi permanent actions			
	q inst	2,99 kN/m	= $g + \psi_2 \cdot n$	
!!!!	w q.st.	9,5 mm	w limit	6,0 mm
	f 1	5,9 Hz	f 1,limit	7,4 Hz

Bilaga 6

Element typ: CLT 120 L3s

lager i	tjocklek d _i [mm]	riktning °	material
1	40,0	0	C24
2	40,0	90	C24
3	40,0	0	C24
d	120,0		C24

Skivan antas vara 1m bred

$$I_i := \frac{b \cdot h_i^3}{12}$$

$$\gamma := \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_i}{l^2} \cdot \frac{h_j}{G_{r,j}} \cdot \frac{1}{1000}} = 0.902$$

$$I_{\text{eff}} := I_i + \gamma \cdot A_i \cdot z_i^2$$

$$I_i = 5.333 \times 10^6 \cdot \text{mm}^4$$

pga 2 stycken identiska lager

$$I_{\text{eff}} := 2 \cdot (I_i + \gamma \cdot A_i \cdot z_i^2) = 1.261 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

$$W_{\text{eff}} := \frac{I_{\text{eff}}}{\frac{120\text{mm}}{2}} = 2.102 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

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

$$h_i := 40\text{mm}$$

$$A_i := b \cdot h_i$$

$$h_j := \frac{40}{2}$$

$$l := 4000\text{mm}$$

$$z_i := 40\text{mm}$$

$$E := 11000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{r,j} := 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

b = skivans bredd = 1m

h.i = skiktens höjd

A = arean av ett lager

h.j = avståndet från tyngpunktsaxel och nästa limfog

l = längden på skivan

z = avståndet från skivans tyngdpunktsaxel till det bärande lagrets tyngdpunktsaxel

E = Elastisitetsmodul

G.r.j = Rullskjuvmodul, fås från tabeller