

Dimensionering av CLT enligt Eurokod

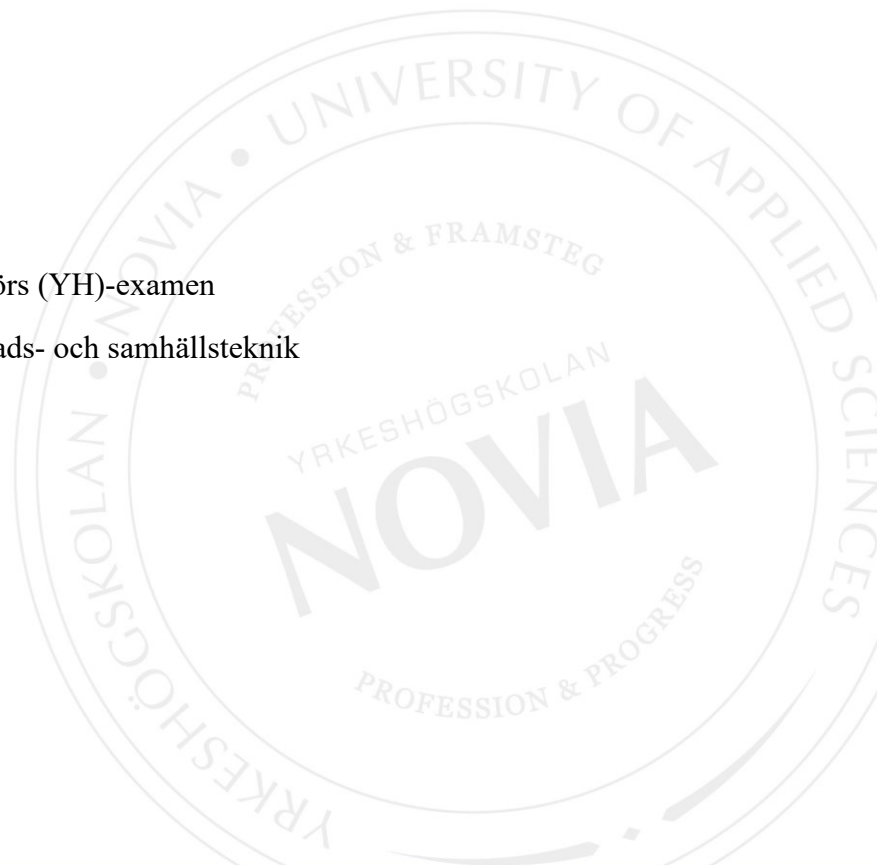
Framtagande av visuell dimensioneringsapplikation

Robin Österberg

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningen inom byggnads- och samhällsteknik

Vasa 2023



EXAMENSARBETE

Författare: Robin Österberg
Utbildning och ort: Byggnadsteknik, Vasa
Inriktningsalternativ: Konstruktionsteknik
Handledare: Anders Borg (Novia), Ben Tuomela (Arkitek)

Titel: Dimensionering av CLT enligt Eurokod
Framtagande av visuell dimensioneringsapplikation

Datum: 01.05.2023

Sidantal: 17

Bilagor: 5

Abstrakt

Målet med detta arbete var att skapa ett antal dimensioneringsapplikationer som har en användarvänlig och förklarande design. Detta för att underlätta dimensioneringen av CLT-konstruktioner som väggar, bjälklag och balkar, samt att minska risken för eventuella fel som kan uppstå vid dimensioneringstillfället. Applikationerna är konstruerade med en logisk uppställning, förklarande bilder och förkortningar för att öka effektiviteten vid dimensionering vilket därmed gör det mera kostnadseffektivt.

CLT-beräkningarna som utvecklats i applikationerna har gjorts med hjälp av Eurokod 5 eller mera specifikt EC 1995-1-1 och andra källor som tar hänsyn till Eurokoderna. Beräkningarna i applikationerna tar inte i beaktande brand- eller ljuddimensionering.

Dimensioneringsapplikationerna som utvecklats ska kunna dimensionera CLT-konstruktioner som förekommer i dagens normala egnahemshus samt ligga till grund för mer avancerade byggnadskonstruktioner.

Språk: svenska
applikation

Nyckelord: CLT, EN 1995-1-1, dimensionering, CLT-

BACHELOR'S THESIS

Author: Robin Österberg
Degree Programme: Construction Engineering, Vasa
Specialization: Structural Design
Supervisor(s): Anders Borg (Novia), Ben Tuomela (Arkitek)

Title: Dimensioning of CLT According to Eurocode
Development of graphical dimensioning application

Date: 01.05.2023

Number of pages: 17

Appendices: 5

Abstract

The purpose of this work is to develop a number of dimensioning applications that have a user friendly and explanatory design. This is to simplify the dimensioning of CLT-constructions such as walls, joists and beams, as well as to reduce the risk of any defects that may occur during the dimensioning. The applications are designed with a logical layout, explanatory images and abbreviations to increase efficiency when dimensioning, thus making it more cost effective.

The CLT-calculations developed in the applications have been made using Eurocode 5 or more specifically EC 1995-1-1 and other sources that are taking Eurocode into account. The calculations do not take into account fire or sound dimensioning.

The dimensioning applications developed should be able to dimension CLT-constructions that occur in today's normal single-family homes and form the basis for more advanced building designs.

Language: english

Key words: CLT, EN 1995-1-1, dimensioning, CLT-application,

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Uppdrag.....	1
1.2	Syfte och mål	1
1.3	Metod	1
1.4	Avgränsningar	2
1.5	Förkortningar och hänvisningar	2
2	CLT.....	3
2.1	Allmänt.....	3
2.2	CLT – Bjälklag	4
2.3	CLT – Väggar.....	4
3	Dimensionering enligt Eurokod	5
3.1	Brottgränstillstånd	5
3.2	Bruksgränstillstånd	5
3.3	Gamma-metoden	6
3.4	Klimatklass.....	6
4	Dimensioneringsapplikationen	8
4.1	Utformning.....	8
4.2	Inmatningsdata	9
4.3	Beräkningens slutdata.....	9
4.4	Excel-programmering.....	9
5	Dimensionering av CLT.....	11
5.1	Effektiva tröghetsmoment.....	11
5.2	Knäckning.....	12
5.3	Skjuvning.....	13
5.4	Nedböjning.....	14
5.5	Vibration.....	14
6	Sammanfattning.....	16
7	Diskussion	16
8	Källförteckning.....	17

Bilagor

Bilaga 1	Dimensionering av CLT Vagg
Bilaga 2	Dimensionering av CLT Bjalklag
Bilaga 3	Dimensionering av CLT Balk
Bilaga 4	Dimensionering av CLT Vagg, Stodreaktion
Bilaga 5	Dimensionering av CLT Vagg, Forankring

1 Inledning

Detta examensarbete är gjort vid Yrkeshögskolan Novia i Vasa, för utbildningen inom byggnads- och samhällsteknik. Arbetet är en automatisk beräkningsbotten gjord i programmet Excel, som dimensionerar olika delar av CLT.

1.1 Uppdrag

Arbetet gjordes åt Arkitek OY AB, där jag utförde min företagsförlagda utbildning under perioden september – november 2019. Arkitek är ett mindre företag som grundades 2016. Företaget har ett kontor som befinner sig i Övermalax och utför olika typer av byggnadsplanering, konsultering- och övervakning samt traditionella byggnadsarbeten.

1.2 Syfte och mål

Målet med detta examensarbete är att skapa ett antal Excel-applikationer som underlättar dimensionering av CLT enligt Eurokoder. Excel-kalkylerna som skapas skall vara användarvänliga på ett sätt så man överskådligt ser vad man dimensionerar. Programmet skall vara tydligt och enkelt vilket gör att dimensioneringen blir effektiv och på det sättet mera kostnadseffektiv. Beställaren har för tillfället inget lämpligt program för detta.

1.3 Metod

I arbetet kommer information att hämtas från webbsidor, handböcker inom området och dokument som har blivit publicerat av organisationer som är kunniga inom CLT. Dimensioneringsdelen kommer främst att göras enligt Eurokod 5 (EN1995-1-1) men också med hjälp av andra CLT-exempel och beräkningar från källor som tar hänsyn till Eurokoderna.

Alla dimensioneringsberäkningar kommer att dokumenteras och automatiseras i programmet Excel. Beräkningarna kommer att delas upp i flera men mindre Excel-kalkyler där varje Excel-kalkyl dimensionerar olika delar av CLT.

1.4 Avgränsningar

Eftersom fem olika Excel-kalkyler har skapats i detta arbete där alla dimensionerar olika delar av CLT, får alla kalkyler delvis olika avgränsningar. Avgränsningar som gäller alla kalkyler är att de: dimensionerar endast enligt ett lastfall, dimensioneras inte mot brand eller ljud och att maxantal lameller vid dimensionering är sju vilket är ett normalt standardvärde.

Avgränsningar som gäller enskilda kalkyler är att CLT-bjälklag och balkar kan endast dimensioneras placerad på två stödupplag.

1.5 Förkortningar och hänvisningar

I detta arbete har en del ord och meningar blivit förkortade för att göra dokumentet mer förståeligt och läsbart. I rubrik 3 presenteras Eurokod 1995–1 där de mest väsentliga formelnerna för dimensionering av trä finns. Denna Eurokod förkortas till [EC5] och efter förkortningen adderas tabeller, bilagor eller formler vilket ser ut som följande: [EC5: Tabell: 3.0], [EC5: Bilaga B: (B.1)] och [EC5: (6.2.3)].

2 CLT

I detta kapitel redogörs för CLT, Cross Laminated Timber eller på svenska så kallat KL-trä vilket står för korslimmat trä. I fortsättningen kommer korslimmat trä att benämnas som CLT. CLT är ett x antal skikt gjorda av ihop limmade brädor eller plankor av massivträ. brädorna och plankorna går under benämningen lameller och dessa limmas ovanpå varandra i en korsvis situation vilket betyder att vartannat skikt ligger i 90 graders riktning i förhållande till intilliggande skikt. Detta syns i bilden nedan (Figur 1).



Figur 1. CLT - skivor med tre- & fem lameller (Stora Enso, 2019).

2.1 Allmänt

Beroende på CLT-tillverkare har de alla olika standardtjocklekar och hållfasthetsklasser. De olika standarderna för CLT-skivor kan variera mellan 3 - 25 skikt, längd 3,0 - 30 m, bredd 1,20 – 4,80 m, tjocklek 60 – 500 mm och hållfasthetsklass C14 – C30.

De flesta CLT-tillverkarna har några olika ytskiktsskisser att välja mellan och olika sätt att benämna dessa på, till exempel Synlig yta, Industri yta och Icke synlig yta. Skivor av CLT kan sedan på plats ytbehandlas som vanligt trä genom lasering, täckmåling, klarlackering eller oljebehandling. (KL-trähandbok, 2017).

Användning av CLT har många fördelar. Det kan fås med hög prefabriceringsgrad och har låg egentyngd vilket ger lägre grundläggnings-, transport- och monteringskostnader. På grund av den låga egentyngden är CLT väldigt lätt att hantera och bearbeta. Eftersom CLT-skivan klarar av stora spännvidder effektiviserar detta byggprocessen genom att minska

arbete för infästningar vilket försnabbar monteringsstiden. Stora spännvidder ger stora element, vilket ger konstruktionen mindre skarv och således små mängder köldbryggor. Stora tvärsnittsytor medför hög bärförmåga och styvhet för CLT-skivorna och hjälper även till att stabilisera byggnaden. Eftersom tvärsnittet är massivt fås även en god brand- och värmeisoleringsförmåga. (KL-trähandbok, 2017).

2.2 CLT – Bjälklag

CLT-bjälklagselement eller så kallad platta, ska ta hand om vertikala laster såsom nyttolast och egentyngd och föra dem vidare ner till upplagen. CLT-plattor kan bära i en eller flera riktningar. Om plattan bär i endast en riktning kan den dimensioneras som en fritt upplagd plattstrimla på en breddmeter. Där fritt upplagd innebär att plattan är placerad på två upplag. Upplagen kan vara stöd längs hela plattans längd eller av punktstöd med mått angivet. Mindre vanligt är om plattan bär i två riktningar, då dimensioneras den som en tre- eller firsidigt upplagd platta. För bjälklag är nedböjning och svikt ofta dimensionerande. (KL-trähandbok, 2017).

2.3 CLT – Väggar

För CLT-väggskivor betraktas skivorna mellan stora fönsteröppningar som pelare med en knäcklängd motsvarande våningshöjden. Det rekommenderas att vägskivans upplag centreras på bästa möjliga sätt för att minimera excentricitetsmoment eller undvika helt. Brandlastfallet kan i många situationer vara dimensionerande och för att undvika detta gör man sällan CLT-väggens tjocklek mindre än 70mm.

3 Dimensionering enligt Eurokod

Dimensionering av trä görs till största delen med Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner. Där Eurokod 5 består av två huvuddelar:

- EN 1995–1 Allmänt.
- EN 1995–2 Broar.

Där EN 1995–1 ”Allmänt” består i sin tur av:

- EN 1995-1-1 Allmänt – Gemensamma regler och regler för byggande.
- EN 1995-1-2 Allmänt – Brandteknisk dimensionering.

EN 1995–2 och EN 1995-1-2 tas inte i beaktande i detta arbete.

Dimensionering enligt Eurokod sker i så kallade brottgräns- och -bruksgränstillstånd. Beroende på vilket tillstånd man dimensionerar enligt uppförstolar man laster eller så försämrar man materialegenskaperna med hjälp av säkerhets- eller partialkoefficienter. Vid dimensionering av träkonstruktioner bör ett antal faktorer beaktas. Sådana faktorer är lastens varaktighet, klimatklass och lastens riktning i förhållande till fiberriktningen, vilket är extra viktigt då CLT är uppbyggt av brädlager i olika riktningar.

3.1 Brottgränstillstånd

Om brottgränstillståndet överskrids kan det leda till brott vilket betyder att konstruktionen eller konstruktionsdelens bärförmåga förloras. I brottgränstillståndet uppförstolar man lasterna med säkerhetskoefficienter. Brottgränstillståndet tar hänsyn till människors och bärverkets säkerhet. Vid brottgränstillstånd kan följande situationer vara aktuella: förlorad jämnvikt hos bärverket, brott på grund av utmattning eller andra tidsberoende effekter.

3.2 Bruksgränstillstånd

I bruksgränstillståndet kontrollerar man olika krav som kan skada eller inverka på konstruktionens utseende, användares bekvämlighet eller bärverkets funktion. Typiska krav som kontrolleras är deformation, svikt, vibration och sprickbildning. I bruksgränstillståndet uppförstolar man inte lasterna utan de behåller sina karakteristiska värden.

3.3 Gamma-metoden

Gamma-metoden är en approximativ metod för att beakta skjuveftergivligheten i tvärskikten. Metoden tar hänsyn till skjuveftergivligheten och skjuvdeformationerna genom att betrakta den effektiva böj styvheten eller som också kallas effektivt tröghetsmoment. Formlerna för Gamma-metoden i Eurokod 5 är enkla och kan användas för tvärsnitt med 3- och 5-skikt medan beräkningarna för 7 eller flera skikt görs med en linjär ekvation. Fördelar med att använda gamma-metoden är att nedböjningen kan beräknas enligt konventionell Bernoulli-Euler balkteori.

Om man inte vill använda Gamma-metoden finns det också en annan alternativ metod man kan använda som kallas Timoshenkoteorin. I Timoshenkoteorin tar man hänsyn till skjuveftergivligheten i tvärlagren genom att beräkna nettotvärsnittets tröghetsmoment utan någon reduktionsfaktor. När man kontrollerar skjuvstyvheten för vardera skiktet bör man ha med en skjuvkorrektionsfaktor som tar i beaktande deformation för tvärsnittet kring en axel. Fördel med att använda Timoshenkoteorin är att man får skjuv- och böjstyvheter som tvärsnittsstorheter. Nackdel är att skjuvdeformationer måste beaktas vid beräkning.

3.4 Klimatklass

Klimatklasser är en ganska väsentlig del vid dimensionering av trä. Beroende på vilken klimatklass som väljs kan det ändra värdet på en par koefficienter. Klimatklasserna bestäms beroende på områdets miljö och luftfuktighet. Konstruktionen som dimensioneras kan tillhöra en av tre olika klimatklasser som presenteras nedan.

Klimatklass 1 används vid en miljö där den relativa luftfuktigheten, RF, överstiger 65 % endast under några få veckor per år. Detta motsvarar en medelfuktkvot i CLT som bara överstiger 12 % under kortare perioder. Konstruktionsdelar som tillhör klimatklass 1 är:

- Vindsbjälklag och takkonstruktioner i kalla men ventilerade vindsutrymmen.
- Ytterväggskvivor i permanent uppvärmda byggnader som skyddas av ventilerad och dränerad beklädnad.
- Bottenbjälklag över inneluft ventilerat kryprum.

Klimatklass 2 används vid en miljö där den relativa luftfuktigheten, RF, överstiger 85 % endast under några få veckor per år. Detta motsvarar en medelfuktkvot i CLT som bara överstiger 20 % under kortare perioder. Konstruktionsdelar som tillhör klimatklass 2 är:

- Bottenbjälklag över uteluftventilerade kryputrymmen.
- CLT-konstruktioner i byggnader som inte är permanent uppvärmda.

Klimatklass 3 används vid en miljö som ger ett större fuktinnehåll än det som krävs för klimatklass 2. Konstruktionsdelar som tillhör klimatklass 3 är:

- CLT-konstruktioner i byggnader med fuktalstrande verksamhet eller fuktalstrande lagring.
- CLT-konstruktioner som är i direkt kontakt med mark eller helt oskyddade mot väta.

4 Dimensioneringsapplikationen

Dimensioneringsberäkningarna är utfört i programmet Excel och är uppdelat i fem olika kalkyler. Kalkylerna dimensionerar olika delar av CLT: CLT-bjälklag, -väggar och -balkar. Kalkylerna har en förklarande design och logisk uppställning samt att de ska underlätta dimensioneringen.

4.1 Utformning

Applikationen är uppbyggd så att all data som matas in förhand ryms på en flik. För att undvika eventuella fel vid inmatning av data finns det en förklarningsflik som förklarar alla variabler som skall matas in samt en bild av den del som dimensioneras. Excel-applikationerna är uppbyggda i flera flikar enligt följande:

- Förklaring: där det allmänt förklarar vad Excel-filen innehåller och dimensionerar. Samt förklarar dess värden som behov vid inmatning för att den skall dimensionera rätt.
- Printblad: innehåller all inmatning av data samt svar i procentform av den slutliga dimensioneringen.
- Dimensionering: innehåller alla formler som automatiskt dimensionerar enligt den indata som har gets ur tidigare flik.
- Tabell: innehåller nödvändiga hjälpvärden vid dimensionering.
- Materialegenskaper: innehåller nödvändiga hjälpvärden vid dimensionering.
- Matrishjälpmiddel: innehåller nödvändiga hjälpvärden som behövs för att matrisen skall fungera.
- Matris: innehåller gamma värden som är nödvändiga för dimensioneringen.

Där varje flik består av data som är nödvändig för att få ett slutligt dimensioneringssvar. Eftersom de enda celler som behöver ändras finns i fliken Printblad, kommer alla andra celler att låsas med ett lösenord för att undvika att ändringar görs i misstag.

4.2 Inmatningsdata

All inmatningsdata sker i fliken Printblad och är lite olika för vardera Excel-applikation. Fliken har en vänlig uppställning och om så problem uppstår kan man med hjälp av fliken Förklaring få en bättre förståelse om vad som dimensioneras och vad inmatnings variablerna betyder. Fliken Printblad kan ses i bilaga 1, 2, 3, 4 och 5.

Fliken Printblad har en uppställning enligt följande:

1. Textruta med inmatning av kund- och projektuppgifter samt planerare, granskare och datum när sagd dimensionering blivit planerad och granskad.
2. Inmatning av värden för CLT-tvårsnitt, hållfasthetsklass, klimatklass och lastvarighetsklass som fås med hjälp av en nedfällbar lista, som i sin tur tar värden ur tabeller från andra flikar.
3. Inmatning av mått för CLT-skivan samt mått för belastningsbredd och håltagningar. Dessa värden varierar för vardera applikationen.
4. Inmatning av verkande belastningar som beräknas förhand eller med hjälp av andra program.
5. De viktigaste utgångsvärden som avgör om objektet håller eller inte. Vilket skapats automatiskt med hjälp av den data som blivit inmatat i skeden ovanför.

4.3 Beräkningens slutdata

Eftersom alla Excel-applikationer dimensionerar olika delar har de alla också annorlunda slutdata. Det är alldeles för tidskrävande att skriva alla beräkningar och detaljer i textform. Därför tas endast det mest väsentliga med som förekommer i flera av applikationerna. Dessa beräkningar är uppställda och förklarade under (rubrik 5.0).

4.4 Excel-programmering

De flesta funktioner som har används i Excel har blivit själv lärda. Ifall problem har uppstått har hjälp tagits från Excels forum. Där kan postas Excel-problem och moderatorer svarar så snabbt som möjligt. Excel-programmet har blivit kört på engelska eftersom det känns mera naturligt samt att det är lättare att hitta svar på problem. I detta arbete används inte så många inveckla funktioner. De mer intressanta funktionerna som har använts i detta arbete är:

Skapning av nedfällbara listor som är användbara ifall man i en cell vill ha flera olika värden som man lätt kan välja genom.

IF-funktionen: Används för att jämföra ett värde och sen ge tillbaka ett annat värde om det är sant och ett annat om det är falskt. Om värdet man ska jämföra har flera krav kan man förbättra funktionen med att lägga till AND eller OR.

VLOOKUP-funktionen: Används när man behöver hitta ett värde i en tabell eller ett område efter rad. VLOOKUP består av fyra delar. Det man vill slå upp, var man vill leta efter det, kolumnnumret i området som innehåller värdet som skall returneras och om det skall returneras som en exakt matchning eller inte.

5 Dimensionering av CLT

I detta kapitel framförs de dimensioneringsmetoder som har använts i dessa kalkyler. För att göra texten överskådlig visas inte alla beräkningar och detaljer utan endast det mest väsentliga. Kalkylerna är uppdelade i fem olika Excel-filer enligt följande.

- Kalkyl 1 CLT-Väggdimensionering
- Kalkyl 2 CLT-Bjälklagdimensionering
- Kalkyl 3 CLT-Balkdimensionering
- Kalkyl 4 CLT-Väggstödreaktionsdimensionering
- Kalkyl 5 CLT-Väggförankringsdimensionering

Dimensioneringsberäkningarna varierar för vardera kalkylen. Därför tas endast det mest väsentliga med som också förekommer i flera av kalkylerna. Detta beräknas enligt underrubrikerna nedan.

5.1 Effektiva tröghetsmoment

Det effektiva tröghetsmomentet är beräknat med Gamma-metoden som förklaras under rubriken 3.3 Gamma-metoden. Formeln för beräkning av det effektiva tröghetsmomentet fås med Stainers stats och ser ut som följande:

$$I_{ef} = \sum \left(\frac{bt_i^3}{12} + \gamma_i bt_i a_i^2 \right) \quad [\text{EC5: Bilaga B: (B. 1)}]$$

Formeln från Eurokod 5 är lite mera komplicerad och tar hänsyn till materialets elasticitetsmodul vilket inte behövs när hela tvärsnittet är symmetriskt och har samma elasticitetsmodul. Där indexet (i) står för antalet lameller som arbetar i samma riktning som lasten i fråga. Antalet lameller beror på hur många lameller CLT-skivan består av och eftersom varannan lamell ligger 90 graders riktning i förhållande till intilliggande skikt blir då $i =$ varannan lamell (1,3,5,7 osv). b står för bredden på den del som skall behandlas och a_i är avståndet från lamellens tyngdpunktsaxel till CLT-skivans tyngdpunktsaxel vilket är mitt i skivan om det är symmetriskt.

Symbolen γ är en reduktionsfaktor av Stainer-andel $\gamma < 1.0$ och den påverkas som mest av CLT-skivans bredd på lamellerna och spännvidden. γ formeln ser ut som:

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_0 t_i t_j}{L_{ref}^2 G_R}} \quad [\text{EC5: Bilaga B: (B.5)}]$$

Där L_{ref} är en referenslängd eller så kallat spännvidd av CLT-skivan. Spännvidden varierar beroende på vad för konstruktionsdel som dimensioneras samt hur den är upplagd. Indexet i betyder samma som i formeln för L_{ef} . Medan indexet j är antalet lameller som ligger i 90 graders riktning i förhållande till index i vilket ger $j =$ varannan lamell (2,4,6 osv). E_0 är tvärsnittets elasticitetsmodul vilket vid symmetriskt tvärsnitt är det samma för alla lameller men vid osymmetriskt tvärsnitt kan det variera. Detta betyder att varje lamell inte behöver ha samma hållfasthetsklass om så önskas detta påverkar också G_R vilket tar i beaktande tvärsnittets rullskjuvning.

Beräkning av det effektiva tröghetsmomentet har gjorts för Kalkyl 1, 2 och 3.

5.2 Knäckning

Vid kontroll av knäckning hos CLT-väggskivor och pelare är det i princip två olika laster som kan förekomma, rent axiellt tryck och transversallaster. Ifall dessa laster kombineras fås kravet för knäckning och beräknas enligt formeln nedan.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \quad [\text{EC5: (6.23)}]$$

Där $\sigma_{c,0,d}$ står för dimensionerande tryckspänning längs med fiberriktningen, $\sigma_{m,y,d}$ är dimensionerande böjspänning kring y-axeln, $f_{c,0,d}$ är dimensionerande tryckhållfasthet längs med fiberriktningen, $f_{m,d}$ är dimensionerande böjhållfasthet och $k_{c,y}$ är en hållfasthetsrelaterad reduktionsfaktor som beaktar knäckningsrisken och beräknas enligt formeln:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad [\text{EC5: (6.25)}]$$

$k_{c,y}$ påverkas av $\lambda_{rel,y}$ vilket är en relativ slankhetsfaktor för knäckning kring y-axeln. Om $\lambda_{rel,y}$ är mindre än 0,3 är risk för knäckning nästan obefintligt och då bör följande samband verifieras.

$$\left(\frac{\sigma_{c,x,d}}{f_{c,0,xlay,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,xlay,d}} \leq 1,0 \quad [\text{EC5: (6.19)}]$$

Kontroll av knäckning har gjorts i Kalkyl 1 och delvis Kalkyl 2.

5.3 Skjuvning

Skjuvning sker i brottgränstillstånd och kan påverka CLT-skivor på flera olika sätt men i detta arbete påverkas det på ett sätt som kallas ”Shear failure in crossing areas” vilket på svenska är skjuvning i lim ytan mellan skikt. Detta innebär att lamellerna vill rotera i förhållande till varandra vilket gör att det i anslutning till lim ytan uppstår längs skjuvspänningar och rullskjuvspänningar. Detta kan tillsammans leda till att brott uppstår i limytan.

Skjuvning påverkas av 2 faktorer, γ_M och k_{mod} . γ_M är en partialkoefficient för materialegenskaper som också tar hänsyn till osäkerheter i beräkningsmodell och måttavvikelser. k_{mod} är en korrektionsfaktor som tar hänsyn till inverkan av lastvaraktighet och fuktkvot och bestäms enligt klimatklass och lastvaraktighetsklass. Värderna för γ_M kan hittas i [EN 1995-1-1 Tabell 2.3] och för k_{mod} i [EN 1995-1-1 Tabell 3.1].

Kravet för skjuvning gäller:

$$\frac{\tau_d}{f_{R,d,0^\circ}} \leq 1,0 \quad [\text{EC5: (6.13)}]$$

Där τ_d är dimensionerande skjuvspänning vilket påverkas av skjuvahållfastheten, effektiva vridmomentet och effektiva tröghetsmomentet. $f_{R,d,0^\circ}$ är dimensionerande skjuvahållfastheten längs med planet. $f_{R,d,0^\circ}$ påverkas av γ_M , k_{mod} och $f_{R,k,0^\circ}$ vilket är den plana skjuvahållfastheten när skivan böjs i C-riktning. Formeln för det effektiva vridmomentet finns inte utskrivet i Eurokod 5 men enligt professionella CLT källor som tar i beaktande Eurokodernas krav beräknas det enligt:

$$S_{ef,i} = A_i \gamma_i a_i \quad (\text{Oy CrossLam Kuhmo Ltd, 2019})$$

Runt om varje limfog finns två lameller, den ena pekar åt huvudriktningen och den andra är roterad 90 grader. Vid beräkning av det effektiva vridmomentet används arean av den lamell som går i huvudriktningen A_i samt γ_i och a_i som förklaras i (rubrik 5.1).

Kontroll mot skjuvning har gjorts i Kalkyl 1,2 och 3.

5.4 Nedböjning

Nedböjning kontrolleras i bruksgränstillstånd när alla laster har sina karakteristiska värden. För de flesta konstruktionerna består lasten av en permanent del (G) och en variabel del (Q). För träkonstruktioner där de variabla lasterna (Q) dominerar kan nedböjningen variera under konstruktionens längd.

Kravet för slutlig nedböjning kontrolleras enligt följande:

$$w_{fin} \leq \frac{L}{300} \quad [\text{EC5: Tabell: 7.2}]$$

Där w_{fin} är den slutliga nedböjningen och kan beräknas på olika sätt beroende på vad för laster som finns på konstruktionen. I detta arbete beräknas w_{fin} med en kombination av slutlig nedböjning för både permanenta och variabla laster:

$$w_{fin} = w_{inst,g} * (1 + k_{def}) + w_{inst,q} * (1 + \psi_2 * k_{def}) \quad (5.2 \text{ och } 5.3)$$

Där $w_{inst,g}$ och $w_{inst,q}$ är momentan nedböjning p.g.a. permanent last (G) och variabel last (Q), k_{def} är en deformationsfaktor som bestäms beroende på klimatklass och material och ψ_2 är en lastkombinationsfaktor för kvasipermanent värde på variabel last och bestäms beroende på vad byggnadens använda mål är. (KL-trähandbok, 2017)

Kontroll mot nedböjning har gjorts i Kalkyl 2 och 3.

5.5 Vibration

Vibration är ett väldigt känsligt element för människor och kan förekomma på flera olika sätt till exempel när människor går på ett golv påverkar det upplevelsen av konstruktionens kvalitet. Enligt Eurokod 5 bör den relativa dämpningen $[\zeta]$ för träbjälklag antas till 1 procent, såvida inte andra värden påvisats vara lämpligare.

Beräkning av den lägsta egenfrekvensen för ett golvbjälklag som betraktas som en balk beräknas enligt formeln nedan:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 * L^2} * \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}} \geq 8\text{Hz} \quad [\text{EC5: (7.5)}]$$

Där $(EI)_L$ är bjälklagets böj styvhet i den styvaste riktningen och $[m]$ är bjälklagets massa per ytenhet. Om egenfrekvensen $[f_i]$ är lägre än 8 Hz krävs det en särskild utredning. Om

den är högre utförs beräkningarna genom att kontrollera den momentana nedböjningen skapad av en punktlast $[F]$ på 1 kN. Formeln för beräkning av den momentana nedböjningen fås som följande:

$$\delta = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{F * L^2}{42 * k_s * (EI_{ef})_L} \\ \frac{F * L^3}{48 * s * (EI_{ef})_L} \end{array} \right. < 0,50 \quad (\text{Oy CrossLam Kuhmo Ltd, 2019})$$

Där $[F]$ är som tidigare en statisk punktlast på 1,0 kN som verkar mitt på bjälklaget och simulerar ett fotsteg av en människa. $[k_s]$ är lastfördelningsfaktor som tar i beaktande skillnaden mellan lamellerna i huvudriktningen och lamellerna svängd 90 grader i förhållande till lamellerna i huvudriktningen. $[s]$ är en bredd meter. Den momentana nedböjningen skall helst inte överskrida 0,50 mm.

Vibration har kontrollerats i Kalkyl 2.

6 Sammanfattning

Målet med detta arbete var att skapa ett antal små Excel-applikationer som skall dimensionera olika delar av CLT-konstruktioner. Detta mål har uppfyllts. I början av arbetet hade jag endast grundkunskaper i Excel men eftersom Excel är ett väldigt intressant program har det inte varit något större problem att lära sig. Eurokoderna har varit bekanta i ett bra tag på grund av noggrann genomgång av dem i skolan. Den mest krävande utmaningen i detta arbete har varit att få i Excel-applikationen implementerat automatisk dimensionering för tre, fem eller sju CLT-lameller. En annan utmaning har varit att få Excel-applikationens utseende att se enkelt, smart och lättförståeligt ut.

I framtiden när företaget som har beställt det här arbetet skall konstruera och bygga nya hus av CLT kommer de att ha nytta av dessa dimensioneringsapplikationer. Dimensioneringsapplikationen är lättförståelig och har en förklarande design vilket innebär att ingen större skolning behövs för att använda applikationen. Applikationen är uppbyggd så att ändringar vid inmatning av data är enkla att utföra, men den automatiska dimensioneringsdelen är låst med lösenord. Detta för att undvika att applikationens funktion ändras och om ändringar behövs sker det endast medvetet.

7 Diskussion

Arbetet med att skapa ett antal automatiska dimensioneringsapplikationer har varit både intressant och lärorikt, Både då det gäller programmering i Excel och dimensionering av CLT-konstruktioner. Excel-applikationerna är dock inte fullständiga utan utrymme för utveckling i framtiden finns. Ett antal utvecklingsförslag för Excel-applikationerna är att skapa så de kan dimensionera enligt flera olika lastfall. I nuvarande skede är det endast ett lastfall som undersöks. Andra utvecklingsförslag är också att skapa nya eller implementera i de kalkyler som redan finns, dimensionering mot brand och ljud.

8 Källförteckning

- EN 1990. (2010). *Eurokod - Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk*. European committee for standardization.
- EN 1991-1-1. (2011). *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-1: Allmänna laster - Tunghet, egentyngd, nyttning last för byggnader*. European committee for standardization.
- EN 1991-1-6. (2008). *Eurokod 1: Laster på bärverk - Del 1-6: Allmänna laster - Last under byggskedet*. European committee for standardization.
- EN 1995-1-1. (2009). *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner - Del 1-1: Allmänt - Gemensamma regler och regler för byggade*. European committee for standardization.
- KL-trähandbok. (2017). *Fakta och projektering av KL-träkonstruktioner*. Stockholm: Svenskt Trä.
- Microsoft. (u.d.). *Excelforum*. Hämtat från www.excelforum.com
- Oy CrossLam Kuhmo Ltd. (2019). *Crosslam*. Hämtat från www.crosslam.fi.
- proHolz. (2014). *Cross-Laminated Timber Structural Design*. proHolz Austria.
- Stora Enso. (2019). *Stora Enso*. Hämtat från www.storaenso.com
- Svenskt Trä. (2018). *Träguiden*. Hämtat från www.traguiden.se



Kort förklarande det olika symbolerna som behövs matas in för att kalkylen skall fungera.

Material egenskaper:

[Tvärsnitt] = C7-220-40 där [C7] står för antalet skikt i CLT-skivan (i detta fall 7), [220] är skivans tjocklek i millimeter och [40] innebär tjocklek på varannat skikt, också i millimeter. Finns 29 olika tvärsnitt att välja mellan.

[Hållfasthetsklass] = bestämmer hållfastheten för konstruktionsvirket, finns i klasserna C14, C18, C24 och C30

[Lastvarighetsklass] = Påverkar en par faktorer och bestäms beroende på hur länge en last verkar. Finns att välja mellan [Momentan, Korttid, Medellång, Långtid och Permanent].

[Klimatklass] = Bestäms beroende på klimatet i området runt objektet, klasserna anges som 1, 2 och 3

Väggmått:

[L] = CLT-skivans totala längd i enheten meter.

[H] = CLT-skivans totala höjd i enheten meter.

[L_h] = Längden på håltagningen i CLT-skivan, anges i enheten meter.

[H_h] = Höjden på håltagningen i CLT-skivan, anges i enheten meter.

[b] = Kortaste avståndet från yttrekant CLT-skiva till början av håltagningen.

[B] = Kortaste avståndet från yttrekant CLT-skiva till mitten av håltagningen.

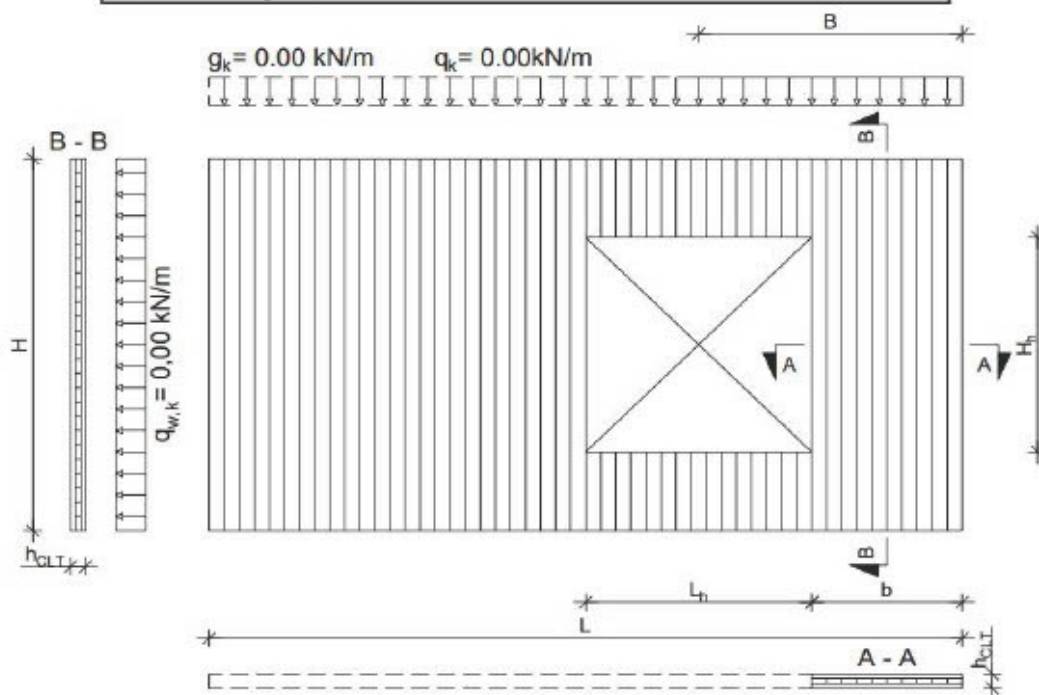
Belastningar:

[g_k] = Egenlast ovanpå ytterväggen, anges i enheten kN/m

[q_k] = Nyttolast ovanpå ytterväggen, anges i enheten kN/m

[q_{w,k}] = Yttre vindlaster, anges i enheten kN/m

OBS! Alla laster anges utan extra säkerhetskoefficienter. Dessa är inbakta i dimensionerings formlerna.





Kund:	Arkitek Oy Ab	Arbetsnummer:	2023
Projekt:	Framtagande av dimensioneringsapplikation	Byggnads del:	US1
Adress:	Viasvägen 97, 66140 Malax		

Dimensionering av CLT - V ägg		Planerare:	Robin Österberg	24.04.2023	Datum
Dimensionering enligt Eurokod		Programversion 1.0	Granskare:	Robin Österberg	24.04.2023 Datum

1.1 Mått och inmatningsdata

Material egenskaper:

Tv ärsnitt	C7-220-40	Lastvarighetsklass	Medellång
Hållfastighetsklass	C24	Klimatklass	2

V äggmått:		Belastningar:	
V äggens längd	L	5000	mm
V äggens höjd	H	2600	mm
Hålets längd	L _H	1500	mm
Hålets höjd	H _H	1500	mm
Belastnings bredd	B	1750	mm
Bredd till håltagning	b	1000	mm

Egenlast ovanpå vägg	g _k	80	kN/m
Nyttolast ovanpå vägg	q _k	120	kN/m
Yttre vindlast	q _{w,k}	1	kN/m

1.2 Resultat

Slutliga dimensionerings värden:

Kontroll av kombinerad Knäckning	25,69	%	Kontroll av Skjuvmotstånd i limfog 1	2,39	%
Kontroll av Deformation	1,25	%	Kontroll av Skjuvmotstånd i limfog 2	12,06	%
	0,11	mm	Kontroll av Skjuvmotstånd i limfog 3	2,85	%



Förklaring	Symbol	Värde	Enhet
CLT Tvärsnitt		C7-220-40	
Tvärsnitts värden			
CLT-skivans tjocklek	h_{CLT}	220 mm	
Första skiktets tjocklek (X-led)	t_1	40 mm	
Andra skiktets tjocklek (Y-led)	t_2	20 mm	
Tredje skiktets tjocklek (X-led)	t_3	40 mm	
Fjärde skiktets tjocklek (Y-led)	t_4	20 mm	
Femte skiktets tjocklek (X-led)	t_5	40 mm	
Sjätte skiktets tjocklek (Y-led)	t_6	20 mm	
Sjunde skiktets tjocklek (X-led)	t_7	40 mm	
Avstånd mellan första skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_1	90 mm	
Avstånd mellan andra skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_2	60 mm	
Avstånd mellan tredje skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_3	30 mm	
Avstånd mellan fjärde skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_4	0 mm	
Avstånd mellan femte skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_5	30 mm	
Avstånd mellan sjätte skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_6	60 mm	
Avstånd mellan sjunde skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_7	90 mm	
Vägg längd	L	5000 mm	
Vägg höjd	H	2600 mm	
Bredd från väggens kant till håltagning	b	1000 mm	
Håltagningens längd	L_h	1500 mm	
Håltagningens höjd	H_h	1500 mm	
Mått från väggens ända till mitt på håltagning (lastbredd)	B	1750 mm	
Mått från neutral-axeln till limfog 1	t	30 mm	
Mått från första skiktets tyngdpunkts-axel till skivans ända	d_1	20 mm	
Avstånd från neutralaxeln till 1/4 av neutral skiktet	$a_{neutral}$	5 mm	
Laster			
Egenlast	g_k	80 kN/m	
Nyttolast	q_k	120 kN/m	
Vindlast	$q_{w,k}$	1 kN/m	
Effektiva tvärsnittsvärden			
Första lamellens area (samma för 1, 3 & 5)	$A_{1,3,5,7}$	40000,00 mm ²	
Gamma_1 gäller också för lammellerna 1, 3 & 5	γ_1	0,771 -	
Effektiva tröghetsmomentet	$I_{ef,L}$	5,23E+08 mm ⁴	
Effektivt böjmotstånd	$W_{ef,L}$	5,85E+06 mm ³	
Effektivt vridmoment vid limfog 1	$S_{ef,1}$	2,78E+06 mm ³	
Effektivt vridmoment vid limfog 2 (5 lameller)	$S_{ef,2}$	1,40E+07 mm ³	
Effektivt vridmoment vid limfog 3 (7 lameller)	$S_{ef,3}$	3,30E+06 mm ³	
Effektiv area	A_{ef}	160000,00 mm ²	
Kontroll av knäckning vid kombinerad tryck- och momentbelastning			
Kritisk knäckningslängd	$L_{c,x}$	2600 mm	
Rakhets faktor	β_c	0,1 -	
Partialkoefficient för materialet	γ_m	1,25 -	

faktor för bärförmåga hos ett system	k_{sys}	1,15 -
Tröghets radie	i_y	57,15 mm
Slankhetstal svatande mod utböjning kring y-axeln	λ_y	45,49 -
Relativt slankhetstal svarade mod utböjning kring y-axeln	$\lambda_{rel,y}$	0,77 -
Instabilitetsfaktor	k_y	0,82 -
Instabilitetsfaktor	$k_{c,y}$	0,91 -
Dimensionerande tryckspänning längs fiberriktningen	$\sigma_{c,0,d}$	2,98 N/mm ²
Faktor för kombinationsvärde av variabla laster	ψ_0	0,6 -
Dimensionerande momentbärförmåga	$M_{y,d}$	1,33 kNm
Dimensionerande böjspänning kring y-axeln (huvudaxel)	$\sigma_{m,y,d}$	0,23 N/mm ²
Dimensionerande tryckbärförmåga	$f_{c,0,d}$	13,44 N/mm ²
Dimensionerande böjbärförmåga	$f_{m,d}$	17,66 N/mm ²
Utnyttjande grad		26 %
Kontroll av skjuvmotstånd i limfog 1		
Plana skjuvhållfastheten när skivan böjs i C-riktning	$f_{R,k,0^\circ}$	0,71 N/mm ²
Dimensionerande skjuvhållfasthet	$V_{d,1}$	2,05 kN
Dimensionerande skjuvspänning	$\tau_{d,1}$	0,01 N/mm ²
Dimensionerande plana skjuvhållfastheten	$f_{R,d,0^\circ}$	0,45 N/mm ²
Utnyttjande grad		2 %
Kontroll av skjuvmotstånd i limfog 2		
Dimensionerande skjuvhållfasthet	$V_{d,2}$	2,05 kN
Dimensionerande skjuvspänning	$\tau_{d,2}$	0,05 N/mm ²
Utnyttjande grad		12 %
Kontroll av skjuvmotstånd i limfog 3		
Dimensionerande skjuvhållfasthet	$V_{d,3}$	2,05 kN
Dimensionerande skjuvspänning	$\tau_{d,3}$	0,01 N/mm ²
Utnyttjande grad		3 %
Kontroll av deformation		
Omedelbar deformation	$u_{inst,w}$	0,11 mm
Utnyttjande grad		1 %



Kort förklarande det olika symbolerna som behövs matas in för att kalkylen skall fungera.

Material egenskaper:

[Tvärsnitt] = C7-220-40 där [C7] står för antalet skikt i CLT-skivan (i detta fall 7), [220] är skivans tjocklek i millimeter och [40] innebär tjocklek på varannat skikt, också i millimeter. Finns 29 olika tvärsnitt att välja mellan.

[Hållfasthetsklass] = bestämmer hållfastheten för konstruktionsvirket, finns i klasserna C14, C18, C24 och C30

[Lastvarighetsklass] = Påverkar en par faktorer och bestäms beroende på hur länge en last verkar. Finns att välja mellan [Momentan, Korttid, Medellång, Långtid och Permanent].

[Klimatklass] = Bestäms beroende på klimatet i området runt objektet, klasserna anges som 1, 2 och 3

Väggmått:

[L] = CLT-bjälklagets stännvidd, anges i enheten meter

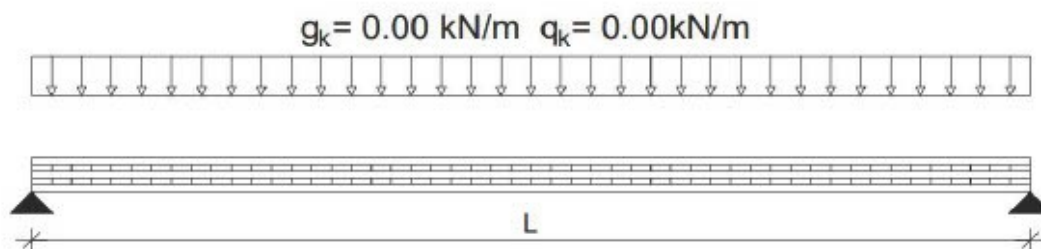
[L₉₀] = CLT-bjälklagets stännvidd i antra riktningen, anges i enheten meter

Belastningar:

[g_k] = Egenlast ovanpå bjälklaget, anges i enheten kN/m

[q_k] = Nyttolast ovanpå bjälklaget, anges i enheten kN/m

OBS! Alla laster anges utan extra säkerhetskoefficienter. Dessa är inbakta i dimensionerings formlerna.





Kund:	Arkitek Oy Ab	Arbetsnummer:	2023
Projekt:	Framtagande av dimensioneringsapplikation	Byggnads del:	VP1
Adress:	Viasvägen 97, 66140 Malax		

Dimensionering av CLT - Bjälklag		Planerare:	Robin Österberg	24.04.2023	Datum
Dimensionering enligt Eurokod Programversion 1.0		Granskare:	Robin Österberg	24.04.2023	Datum

1.1 Mått och inmatningsdata

Material egenskaper:

Tvärsnitt	C5-180-40	Lastvarighetsklass	Medellång
Hållfastighetsklass	C24	Klimatklass	2

Väggmått:		Belastningar:	
Bjälklagets längd	L	5000	mm
Bjälklagets bredd	L ₉₀	2400	mm
		Egenlast på bjälklag	g _k 1,30 kN/m
		Nyttolast på bjälklag	q _k 2,00 kN/m

1.2 Resultat

Slutliga dimensionerings värden:

Kontroll av kombinerad knäckning	17,80	%	Kontroll av skjuvmotstånd i limfog 1	11,66	%
Kontroll av slutlig nedböjning	56,47	%	Kontroll av skjuvmotstånd i limfog 2	12,56	%
Kontroll av slutlig nedböjning L/300	9,41	mm	Kontroll av skjuvmotstånd i limfog 3	0,00	%
Kontroll av punktbelastad nedböjning	0,30	mm			
Kontroll av vibration	10	Hz			



Förklaring	Symbol	Värde	Enhet
CLT Tvärsnitt		C5-180-40	
Tvärsnitts värden			
CLT-skivans tjocklek	h_{CLT}	180	mm
Första skiktets tjocklek (X-led)	t_1	40	mm
Andra skiktets tjocklek (Y-led)	t_2	30	mm
Tredje skiktets tjocklek (X-led)	t_3	40	mm
Fjärde skiktets tjocklek (Y-led)	t_4	30	mm
Femte skiktets tjocklek (X-led)	t_5	40	mm
Sjätte skiktets tjocklek (Y-led)	t_6	0	mm
Sjunde skiktets tjocklek (X-led)	t_7	0	mm
Avstånd mellan första skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_1	70	mm
Avstånd mellan andra skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_2	35	mm
Avstånd mellan tredje skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_3	0	mm
Avstånd mellan fjärde skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_4	35	mm
Avstånd mellan femte skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_5	70	mm
Avstånd mellan sjätte skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_6	0	mm
Avstånd mellan sjunde skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_7	0	mm
Beräknas på 1bredd meter platta	b	1000	mm
Bjälklagets spännvidd	L	5000	mm
Bjälklagets spännvidd i andra riktningen	L_{90}	2400	mm
Mått från neutral-axeln till limfog 1	t	30	mm
Mått från neutral-axeln till limfog 1	t_{90}	20	mm
Mått från första skiktets tyngdpunkts-axel till skivans ända	d_1	20	mm
Avstånd från neutralaxeln till 1/4 av neutral skiktet	$a_{neutral}$	10	mm
Laster			
Egenlast	g_k	1,3	kN/m
Nyttolast	q_k	2	kN/m
Effektiva tvärsnittsvärden			
Area för lamellerna i x-led	$A_{1,3,5,7}$	40000,00	mm ²
Partialkoefficient för lamell 1,3,5	γ_1	0,926	-
Effektiva tröghetsmomentet	$I_{ef,L}$	3,79E+08	mm ⁴
Effektivt böjmotstånd	$W_{ef,L}$	4,47E+06	mm ³
Effektivt vridmoment vid limfog 1	$S_{ef,1}$	2,59E+06	mm ³
Effektivt vridmoment vid limfog 2 (5 lameller)	$S_{ef,2}$	2,79E+06	mm ³
Effektivt vridmoment vid limfog 3 (7 lameller)	$S_{ef,3}$	0,00E+00	mm ³
Effektiv area	A_{ef}	120000,00	mm ²
Kontroll av knäckning vid kombinerad tryck- och momentbelastning			
Partialkoefficient för materialet	γ_m	1,25	-
faktor för bärförmåga hos ett system	k_{sys}	1,15	-
Dimensionerande momentbärförmåga	$M_{y,d}$	14,05	kNm
Dimensionerande böjspänning kring y-axeln (huvudaxel)	$\sigma_{m,y,d}$	3,14	N/mm ²
Dimensionerande böjbärförmåga	$f_{m,d}$	17,66	N/mm ²
Utnyttjande grad		18	%

Kontroll av skjuvmotstånd i limfog 1		
Plana skjuvhållfastheten när skivan böjs i C-riktning	$f_{R,k,0^{\circ}}$	1,03 N/mm ²
Dimensionerande skjuvhållfasthet	$V_{d,1}$	11,24 kN
Dimensionerande skjuvspänning	$\tau_{d,1}$	0,08 N/mm ²
Dimensionerande plana skjuvhållfastheten	$f_{R,d,0^{\circ}}$	0,66 N/mm ²
Utnyttjande grad		12 %
Kontroll av skjuvmotstånd i limfog 2		
Dimensionerande skjuvhållfasthet	$V_{d,2}$	11,24 kN
Dimensionerande skjuvspänning	$\tau_{d,2}$	0,08 N/mm ²
Utnyttjande grad		13 %
Kontroll av skjuvmotstånd i limfog 3		
Dimensionerande skjuvhållfasthet	$V_{d,3}$	11,24 kN
Dimensionerande skjuvspänning	$\tau_{d,3}$	0,00 N/mm ²
Utnyttjande grad		0 %
Nedböjning		
Last kombinationsfaktor för kvasipermanent värde på variabel last	ψ_2	0,3 -
Momentan nedböjning p.g.a. Permanent last	$w_{inst,g}$	2,54 mm
Momentan nedböjning p.g.a. Variabel last	$w_{inst,q}$	3,91 mm
Momentan nedböjning < L/400	w_{inst}	6,44 mm
Utnyttjande grad momentan nedböjning	Σw_{inst}	52 %
Slutlig nedböjning < L/300	w_{fin}	9,41 mm
Utnyttjande grad slutlig nedböjning	Σw_{fin}	56 %
Vibration		
Area för lamellerna i y-led	$A_{2,4,6}$	30000 mm ²
Partialkoefficient för lamell 2,4,6	γ_2	0,851800793 -
Effektiva tröghetsmomentet	$I_{ef,B}$	67107358,26 mm ⁴
Böjstyvheten i den vekare riktningen	$(EI_{ef})_B$	7,38E+05 Nm ²
Böjstyvheten i den styvare riktningen	$(EI_{ef})_L$	4,17E+06 Nm ²
Bjälklagets massa per ytenhet	m	133 kg/m ²
Lägsta egenfrekvensen	f_1	10 Hz
Momentan nedböjning på grund av punktbelastning		
Simulering av ett fotsteg, mitt på en fritt upplagd balk	F	1 N
Korrektions faktor	k_s	0,48 -
mindre en 0,5 mm	δ	0,30 mm



Kort förklarande det olika symbolerna som behövs matas in för att kalkylen skall fungera.

Material egenskaper:

[Tvärsnitt] = C7-220-40 där [C7] står för antalet skikt i CLT-skivan (i detta fall 7), [220] är skivans tjocklek i millimeter och [40] innebär tjocklek på varannat skikt, också i millimeter. Finns 29 olika tvärsnitt att välja mellan.

[Hållfastighetsklass] = bestämmer hållfastigheten för konstruktionsvirket, finns i klasserna C14, C18, C24 och C30

[Lastvarighetsklass] = Påverkar en par faktorer och bestäms beroende på hur länge en last verkar. Finns att välja mellan [Momentan, Korttid, Medellång, Långtid och Permanent].

[Klimatklass] = Bestäms beroende på klimatet i området runt objektet, klasserna anges som 1, 2 och 3

Väggmått:

[L] = CLT-balkens totala längd i enheten millimeter.

[h] = CLT-balkens totala höjd i enheten millimeter.

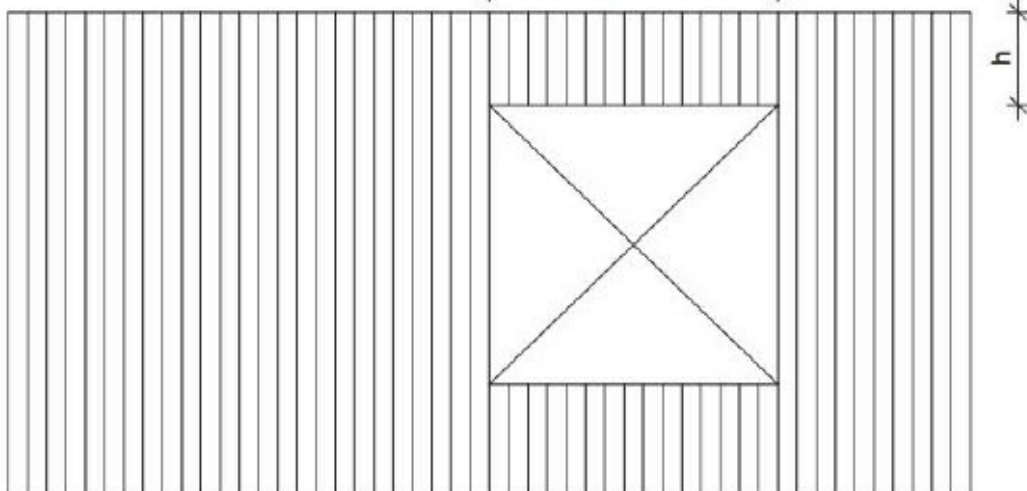
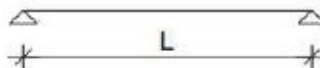
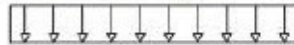
Belastningar:

[g_k] = Egenlast ovanpå balken, anges i enheten kN/m

[q_k] = Nyttolast ovanpå balken, anges i enheten kN/m

OBS! Alla laster anges utan extra säkerhetskoefficienter. Dessa är inbakta i dimensionerings formlerna.

$$g_k = 0.00 \text{ kN/m} \quad q_k = 0.00 \text{ kN/m}$$





Kund:	Arkitek Oy Ab	Arbetsnummer:	2023
Projekt:	Framtagande av dimensioneringsapplikation	Byggnads del:	P-101
Adress:	Viasvägen 97, 66140 Malax		

Dimensionering av CLT - Balk		Planerare:	Robin Österberg	24.04.2023	Datum
Dimensionering enligt Eurokod	Programversion 1.0	Granskare:	Robin Österberg	24.04.2023	Datum

1.1 Mått och inmatningsdata

Material egenskaper:

Tvärsnitt	C5-100-20	Lastvarighetsklass	Medellång
Hållfasthetsklass	C24	Klimatklass	2

Väggmått:		Belastningar:	
Balkens längs	L	1500	mm
Balkens höjd	h	500	mm
Egenlast ovanpå balk	g _k	25	kN/m
Nyttolast ovanpå balk	q _k	40	kN/m

1.2 Resultat

Slutliga dimensionerings värden:

Kontroll av böjhållfasthet	97,50	%	Kontroll av skjuvhållfasthet	97,50	%
Kontroll av slutlig nedböjning	27,21	%	Kontroll om stagnation i z-led behövs	119,33	%
Kontroll av slutlig nedböjning L/300	1,36	mm			



Förklaring	Symbol	Värde	Enhet
CLT Tvärsnitt		C5-100-20	
Tvärsnittets värden			
CLT-skivans tjocklek	h_{CLT}	100 mm	
Första skiktets tjocklek (X-led)	t_1	20 mm	
Andra skiktets tjocklek (Y-led)	t_2	20 mm	
Tredje skiktets tjocklek (X-led)	t_3	20 mm	
Fjärde skiktets tjocklek (Y-led)	t_4	20 mm	
Femte skiktets tjocklek (X-led)	t_5	20 mm	
Sjätte skiktets tjocklek (Y-led)	t_6	0 mm	
Sjunde skiktets tjocklek (X-led)	t_7	0 mm	
Avstånd mellan första skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_1	40 mm	
Avstånd mellan andra skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_2	20 mm	
Avstånd mellan tredje skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_3	0 mm	
Avstånd mellan fjärde skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_4	20 mm	
Avstånd mellan femte skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_5	40 mm	
Avstånd mellan sjätte skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_6	0 mm	
Avstånd mellan sjunde skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_7	0 mm	
Balkens höjd	h	500 mm	
Balkens längd	L	1500 mm	
Laster			
Egenlast	g_k	25 kN/m	
Nyttolast	q_k	40 kN/m	
Effektiva tvärsnittsvärden			
Effektiva bredden	b_{ef}	40,0 mm	
Effektiva tröghetsmomentet	$I_{ef,y}$	4,17E+08 mm ⁴	
Effektivt böjmotstånd	$W_{ef,y}$	1,67E+06 mm ³	
Sprickfaktor för skjuvbärförmåga	k_{cr}	1,00 -	
Tvärsnittsarea	A	50000 mm ²	
Böjhållfasthet			
Partialkoefficient för materialegenskaper	γ_m	1,25 -	
Dimensionerande moment	$M_{y,d}$	25,0 kNm	
Dimensionerande böjspänning	$\sigma_{m,y,d}$	15,0 N/mm ²	
Dimensionerande böjhållfasthet	$f_{m,d}$	15,4 N/mm ²	
Utnyttjandegrad		97,5 %	
Skjuvhållfasthet			
Skjuvbärförmåga per skjuvningsplan ?	$f_{v,k}$	3,2 N/mm ²	
Dimensionerande skjuvkraft	V_d	66,6 kN	
Dimensionerande skjuvspänning	τ_d	2,00 N/mm ²	
Dimensionerande skjuvhållfasthet för aktuella förutsättningar	$f_{v,d}$	2,05 N/mm ²	
Utnyttjandegrad		97,5 %	
Nedböjning			
Faktor för kvasipermanent värde på variabel last	ψ_2	0,3 -	
Omedelbar nedböjning pga egenvikt	$w_{inst,g}$	0,36 mm	
Omedelbar nedböjning pga nyttolast	$w_{inst,q}$	0,58 mm	

Omedelbar nedböjning	Σw_{inst}	0,93 mm
Slutlig nedböjning < (L/300)	w_{fin}	1,36 mm
Utnyttjandegrad		27,2 %
Kontroll om stag behövs i Z-led		
Effektiv bredd beroende på upplagsvillkor & lasttyp	L_{ef}	2350 mm
Mått från neutral-axeln till limfog 1	t	10 mm
Tvårsnittsarea	A_z	10000 mm ²
Faktor gamma	γ_1	0,94296 -
Effektiva tröghetsmomentet	$I_{ef,z}$	8,21E+06 mm ⁴
Effektiv bredd	$b_{ef,z}$	60 mm
Vridtröghetsmoment	I_{tor}	3,33E+07 mm ⁴
Kritisk böjspänning	$\sigma_{m,crit}$	24,46 N/mm ²
Relativ slakhet vid böjning	$\lambda_{rel,m}$	0,991 -
Faktor som beaktar böjhållfastheten vid knäckning	k_{crit}	0,817 -
Utnyttjandegrad		119,33 %



Kort förklarande det olika symbolerna som behövs matas in för att kalkylen skall fungera.

Kalkylen beräknar stödreaktionen mellan CLT-väggar och CLT-bjälklag. De kritiska lamellerna i väggdelen beräknas, dvs dom stående (lamell 1, 3, 5, 7)

Material egenskaper:

[Tvärsnitt] = C7-220-40 där [C7] står för antalet skikt i CLT-skivan (i detta fall 7), [220] är skivans tjocklek i millimeter och [40] innebär tjocklek på varannat skikt, också i millimeter. Finns 29 olika tvärsnitt att välja mellan.

[Hållfastighetsklass] = bestämmer hållfastigheten för konstruktionsvirket, finns i klasserna C14, C18, C24 och C30

[Lastvarighetsklass] = Påverkar en par faktorer och bestäms beroende på hur länge en last verkar. Finns att välja mellan [Momentan, Korttid, Medellång, Långtid och Permanent].

[Klimatklass] = Bestäms beroende på klimatet i området runt objektet, klasserna anges som 1, 2 och 3

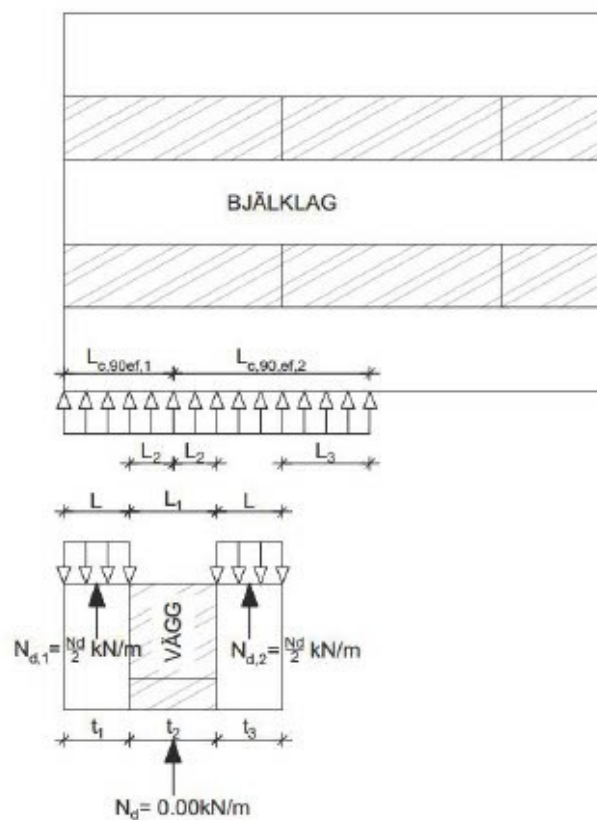
Väggmått:

Alla mått i bilden nedan beräknas automatisk ut beroende på vilket tvärsnitt som väljs.

Belastningar:

[N_d] = Stödkraft i enheten kN/m

OBS! Alla laster anges utan extra säkerhetskoefficienter. Dessa är inbakta i dimensionerings formlerna. Endast ett lastfall beräknas.





Kund:	Arkitek Oy Ab	Arbetsnummer:	2023
Projekt:	Framtagande av dimensioneringsapplikation	Byggnads del:	US1 - YP1
Adress:	Viasvägen 97, 66140 Malax		

Dimensionering av CLT - Vägg, Stödreaktion	Planerare:	Robin österberg	24.04.2023	Datum
Dimensionering enligt Eurokod <i>Programversion 1.0</i>	Granskare:	Robin österberg	24.04.2023	Datum

1.1 Mått och inmatningsdata

Material egenskaper:

Tvärsnitt	C5-180-40	Lastvarighetsklass	Medellång
Hållfastighetsklass	C24	Klimatklass	2

Belastningar:

Egenlast ovanpå vägg	N _d	150	kN/m
-------------------------------	----------------	-----	------

1.2 Resultat

Slutliga dimensionerings värden:

Kontroll av stödtryck lamell 1	45,45 %	Kontroll av stödtryck lamell 5	29,41 %
Kontroll av stödtryck lamell 3	35,71 %	Kontroll av stödtryck lamell 7	0,00 %



Förklaring	Symbol	Värde	Enhet
CLT Tvärsnitt		C5-180-40	
Tvärsnitts värden			
CLT-skivans tjocklek	h_{CLT}	180	mm
Första skiktets tjocklek (X-led)	t_1	40	mm
Andra skiktets tjocklek (Y-led)	t_2	30	mm
Tredje skiktets tjocklek (X-led)	t_3	40	mm
Fjärde skiktets tjocklek (Y-led)	t_4	30	mm
Femte skiktets tjocklek (X-led)	t_5	40	mm
Sjätte skiktets tjocklek (Y-led)	t_6	0	mm
Sjunde skiktets tjocklek (X-led)	t_7	0	mm
Avstånd mellan första skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_1	70	mm
Avstånd mellan andra skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_2	35	mm
Avstånd mellan tredje skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_3	0	mm
Avstånd mellan fjärde skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_4	35	mm
Avstånd mellan femte skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_5	70	mm
Avstånd mellan sjätte skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_6	0	mm
Avstånd mellan sjunde skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_7	0	mm
beräknings längd 1st bredd meter	b	1000	mm
Laster			
Stödskraft	N_d	150	kN/m
Uppdelad stödskraft p.g.a. Antal vertikala lameller	$N_{d,1}$	50	kN/m
Uppdelad stödskraft p.g.a. Antal vertikala lameller	$N_{d,2}$	50	kN/m
Uppdelad stödskraft p.g.a. Antal vertikala lameller	$N_{d,3}$	50	kN/m
Uppdelad stödskraft p.g.a. Antal vertikala lameller	$N_{d,4}$	0	kN/m
Motstånd mot stödtryck för den vertikala delen			
Effektiv kontaktyta längs väggen (Endast vertikala lameller)	$L_{c,0,ef}$	120	mm
Partialkoefficient för materialet	γ_m	1,25	-
Effektiva arean	A_{ef}	120000	mm ²
Dimensionerande tryckspänning	$\sigma_{c,0,d}$	1,25	N/mm ²
Dimensionerande tryckhållfasthet	$f_{c,0,d}$	13,4	N/mm ²
Utnyttjandegrad		9	%
Motstånd mot stödtryck för den horisontella delen			
Avstånd från neutralaxeln närmaste limfog	L_2	15	mm
Avstånd från CLT skivans kant in mot bjälklaget	L_3	30	mm
Effektiv längd av kontaktytan på den horisontella strukturen ovan	$L_{c,90,ef,1}$	55	mm
Effektiv längd av kontaktytan på den horisontella strukturen ovan	$L_{c,90,ef,2}$	70	mm
Effektiv längd av kontaktytan på den horisontella strukturen ovan	$L_{c,90,ef,3}$	85	mm
Effektiv längd av kontaktytan på den horisontella strukturen ovan	$L_{c,90,ef,4}$	0	mm
Spräcknings faktor	$k_{c,90}$	1,25	-
Lamell 1			
Vinkelrät spräcknings faktor	$k_{c,\perp,1}$	1,72	-
Effektiv area	$A_{ef,1}$	40000	mm ²
Dimensionerande tryckspänning	$\sigma_{c,90,d,1}$	1,25	N/mm ²

Dimensionerande tryckhalfasthet	$f_{c,90,d}$	1,60 N/mm ²
Utnyttjandegrad		45 %
Lamell 2		
Vinkelrät spracknings faktor	$k_{c,\perp,2}$	2,19 -
Effektiv area	$A_{ef,2}$	40000 mm ²
Dimensionerande tryckspänning	$\sigma_{c,90,d,2}$	1,25 N/mm ²
Utnyttjandegrad		36 %
Lamell 3		
Vinkelrät spracknings faktor	$k_{c,\perp,3}$	2,66 -
Effektiv area	$A_{ef,3}$	40000 mm ²
Dimensionerande tryckspänning	$\sigma_{c,90,d,3}$	1,25 N/mm ²
Utnyttjandegrad		29 %
Lamell 4		
Vinkelrät spracknings faktor	$k_{c,\perp,4}$	0,00 -
Effektiv area	$A_{ef,4}$	0 mm ²
Dimensionerande tryckspänning	$\sigma_{c,90,d,4}$	0,00 N/mm ²
Utnyttjandegrad		0 %



Kort förklarande det olika symbolerna som behövs matas in för att kalkylen skall fungera.

Material egenskaper:

[Tvärsnitt] = C7-220-40 där [C7] står för antalet skikt i CLT-skivan (i detta fall 7), [220] är skivans tjocklek i millimeter och [40] innebär tjocklek på varannat skikt, också i millimeter. Finns 29 olika tvärsnitt att välja mellan.

[Hållfastighetsklass] = bestämmer hållfastigheten för konstruktionsvirket, finns i klasserna C14, C18, C24 och C30

[Lastvarighetsklass] = Påverkar en par faktorer och bestäms beroende på hur länge en last verkar. Finns att välja mellan [Momentan, Korttid, Medellång, Långtid och Permanent].

[Klimatklass] = Bestäms beroende på klimatet i området runt objektet, klasserna anges som 1, 2 och 3

Väggmått:

[L] = CLT-skivans längd som kontrolleras mot förstuvning, i enheten meter.

[H] = CLT-skivans höjd som kontrolleras mot förstuvning, i enheten meter.

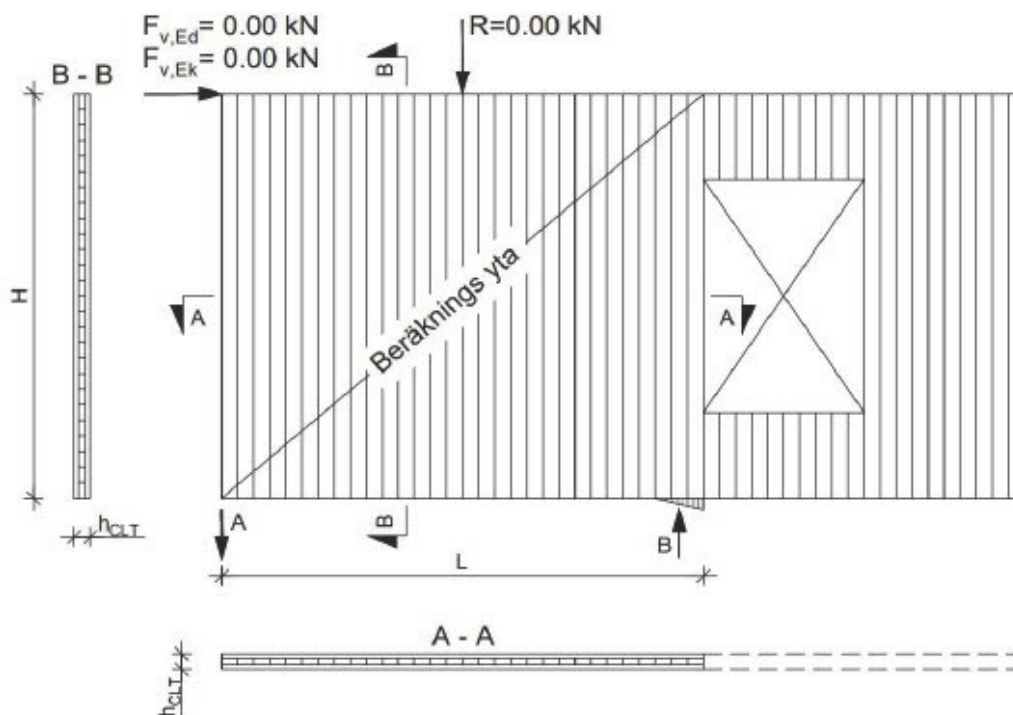
Belastningar:

[F_{v,Ed}] = Förskjutnings kraft i övre kant CLT skiva, anges i kN

[F_{v,Ek}] = Förskjutnings kraft i övre kant CLT skiva, anges i kN

[R] = Fast last placerad mitt på beräknings ytan, anges i kN

OBS! Alla laster anges utan extra säkerhetskoefficienter. Dessa är inbakta i dimensionerings formlerna.





Kund:	Arkitek Oy Ab	Arbetsnummer:	2023
Projekt:	Framtagande av dimensioneringsapplikation	Byggnads del:	US1
Adress:	Viasvägen 97, 66140 Malax		

Dimensionering av CLT - Vagg, Förankring		Planerare:	Robin Österberg	24.04.2023	Datum
Dimensionering enligt Eurokod <i>Programversion 1.0</i>		Granskare:	Robin Österberg	24.04.2023	Datum

1.1 Mått och inmatningsdata

Material egenskaper:

Tvärsnitt	C5-100-20	Lastvarighetsklass	Momentan
Hållfastighetsklass	C24	Klimatklass	2

Väggmått:		Belastningar:	
Beräknings ytans längd	L	3000	mm
Beräknings ytans höjd	H	2600	mm
		Försjuktnings kraft	F_{v,Ed}
			120
		Försjuktnings kraft	F_{v,Ek}
			80
		Fast last ovanpå vägg	R
			150

1.2 Resultat

Slutliga dimensionerings värden:

Kontroll av skjuvhållfastheten	21,31	%	Kontroll förstavningsstödens hållbarhet	100,00	%
Kontroll av deformation	1,00	mm	Stöd kraft vid stöd [B]	185,93	kN
			Stöd [A] bör förankras mot lyftkraft	35,93	kN



Förklaring	Symbol	Värde	Enhet
CLT Tvärsnitt		C5-100-20	
Tvärsnittets värden			
CLT-skivans tjocklek	h_{CLT}	100	mm
Första skiktets tjocklek (X-led)	t_1	20	mm
Andra skiktets tjocklek (Y-led)	t_2	20	mm
Tredje skiktets tjocklek (X-led)	t_3	20	mm
Fjärde skiktets tjocklek (Y-led)	t_4	20	mm
Femte skiktets tjocklek (X-led)	t_5	20	mm
Sjätte skiktets tjocklek (Y-led)	t_6	0	mm
Sjunde skiktets tjocklek (X-led)	t_7	0	mm
Avstånd mellan första skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_1	40	mm
Avstånd mellan andra skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_2	20	mm
Avstånd mellan tredje skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_3	0	mm
Avstånd mellan fjärde skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_4	20	mm
Avstånd mellan femte skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_5	40	mm
Avstånd mellan sjätte skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_6	0	mm
Avstånd mellan sjunde skiktets tyngdpunkts-axel till neutral-axeln	a_7	0	mm
Förstyvnings längd	L	3000	mm
Förstyvnings höjd	H	2600	mm
Laster			
Förskjutnings kraft övrekant CLT skiva	$F_{v,Ed}$	120	kN
Förskjutnings kraft övrekant CLT skiva	$F_{v,EK}$	80	kN
Last ovanpå övrekant CLT skiva	R	150	kN
Tvärsnittets Area			
Spridfaktor för tvärkraftbärförmåga	K_{cr}	1,00	-
Tvärsnittets area	A	300000	mm ²
Skjuvhållfastheten			
Partialkoefficient för materialet	γ_m	1,25	-
karaktäristisk skjuvhållfasthet	$f_{v,k}$	3,2	N/mm ²
Dimensionerande skjuvhållfasthet	V_d	120	kN
Dimensionerande skjuvspänning	τ_d	0,6	N/mm ²
dimensionerande skjuvhållfasthet	$f_{v,d}$	2,816	N/mm ²
Utnyttjandegrad		21,31	%
Skjuvförskjutning av förstoringen			
karaktäristisk skjuvhållfasthet	V_k	80	kN
CLT skivans styvhets hållfasthet	C_v	79615	N/mm
Omedelbar deformation	u_{inst}	1,00	mm
Förstyvningsstödens hållbarhet			
Effektiva tvärsnittets tjocklek	t_{ef}	60	mm
Dimensionerande tryckbärförmåga	$f_{c,0,d}$	18,5	N/mm ²
		312000000	-
Bräkningar för att beräkna [x]		225000000	-
		554	-

Bräkningar för att beräkna [x]		537000000 -
		1663200 -
		185 -
Stödreaktion för stöd B	x	335 mm
Avstånd mellan stödreaktionerna A och B (effektiv längd)	L_{ef}	2888 mm
Stödkraft vid stöd B	B	186 kN
Dimensionerande tryckhållfasthet	$f_{c,d,mean}$	18,5 N/mm ²
Utnyttjandegrad		100 %
Förankringsstöd A		
Lyftkraft som stöd A bör förankras mot	A	36 kN