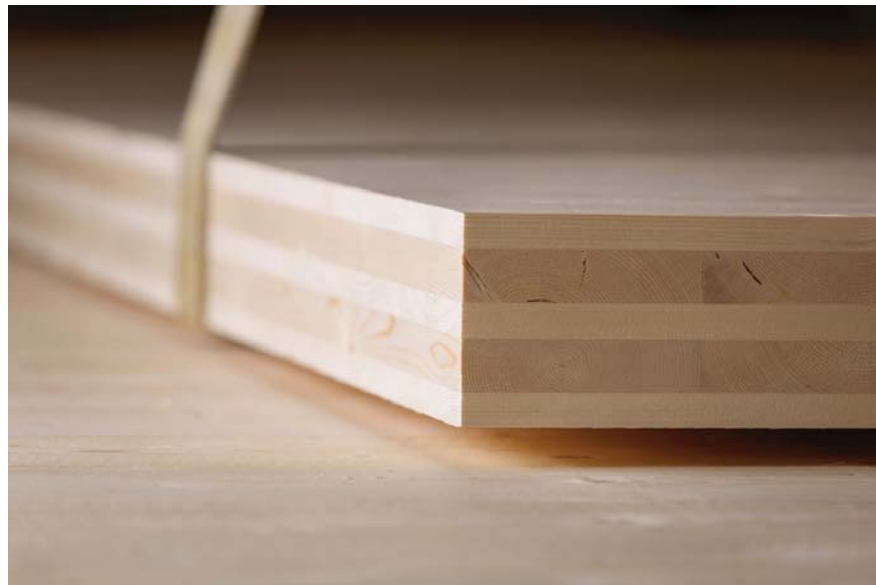




**LUND**  
UNIVERSITY



# **KORSLIMMAT TRÄ**

## **Optimering av tvärsnittsuppbyggnad**

REBECKA KVIST & LUKAS INGVARSSON

---

Structural  
Mechanics

*Bachelor's Dissertation*

---



DEPARTMENT OF CONSTRUCTION SCIENCES

**DIVISION OF STRUCTURAL MECHANICS**

ISRN LUTVDG/TVSM--19/4005--SE (1-99) | ISSN 0281-6679

BACHELOR'S DISSERTATION | EXAMENSARBETE I HÖGSKOLEINGENJÖRSUTBILDNINGEN

# KORSLIMMAT TRÄ

## Optimering av tvärsnittsuppbyggnad

**REBECKA KVIST & LUKAS INGVARSSON**

Supervisor: Professor **ERIK SERRANO**, Division of Structural Mechanics, LTH.

Examiner: Dr **HENRIK DANIELSSON**, Division of Structural Mechanics, LTH.

Cover image by kind permission of Martinsons.

Copyright © 2019 Division of Structural Mechanics,  
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Sweden.

Printed by V-husets tryckeri LTH, Lund, Sweden, June 2019 (PI)

**For information, address:**

Division of Structural Mechanics,  
Faculty of Engineering LTH, Lund University, Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden.

Homepage: [www.byggmek.lth.se](http://www.byggmek.lth.se)



## Förord

Examensarbetet är skrivet som ett avslutande moment i utbildningen till högskoleingenjör inom byggt teknik med arkitektur vid Lunds Tekniska Högskola, Campus Helsingborg. Examensarbetet avser 22,5 högskolepoäng och är utfört på avdelningen för Byggnadsmekanik.

Examensarbetet togs fram i samråd med examinator och handledare under december 2018 och har bidragit till en ökad kunskap kring byggnadsmaterialet KL-trä.

Vi vill tacka FPInnovations för att vi fick använda deras bild i vår rapport. Vidare vill vi rikta ett stort tack till Svenskt Trä för bidraget av två tryckta upplagor av KL-trähandboken samt tillåtelsen att använda oss av deras illustrationer i rapporten. Vi vill även tacka Urban Blomster från Södra och Anna-Lena Gull från Setra som ställt upp på intervju. Ett särskilt tack vill vi rikta till Daniel Wilded från Martinsons för att han inte bara ställt upp på intervju men också gladeligen varit behjälplig med frågor vi haft utöver intervjufrågor. Henrik Danielsson vill vi tacka för att han ställt upp som examinator till vårt examensarbete.

Till sist vill vi rikta ett stort tack till vår handledare Erik Serrano, som varit engagerad från början till slut. Han har hjälpt oss att kontakta företag, varit ett bollplank för diskussioner och på ett väldigt pedagogiskt sätt hjälpt oss framåt under arbetets gång. Tack!

Lund, maj 2019

*Rebecka Knist & Lukas Ingvarsson*



## Sammanfattning

Korslimmat trä, KL-trä, är ett förhållandevis nytt byggnadsmaterial i byggbranschen. Det består av ett udda antal skikt av lameller av konstruktionsvirke, där varje skikt av lameller ligger roterade 90 grader i förhållande till intilliggande skikt. Materialet används både i den bärande stommen och som stomkomplettering i form av exempelvis trappor.

Idag finns endast en etablerad tillverkare på den svenska marknaden för KL-trä. I och med materialets växande popularitet är nu flera andra svenska tillverkare igång med eller i uppstartsfas av KL-trätillverkning. För nya KL-träproducenter är det naturligtvis avgörande att man ur ett tekniskt och ekonomiskt perspektiv optimerar sina produkter. Detta examensarbete handlar om att undersöka hur en sådan optimering kan göras och att belysa vilka tekniska egenskaper hos materialet som är viktigast att ta hänsyn till i samband med utformning av produktutbud för KL-trätillverkare.

Som bakgrund till optimeringen och för att få en grundförståelse för hur materialet KL-trä fungerar samt för att få ta del av producenternas perspektiv på tillverkningsprocessen och produktval, utfördes initialt i arbetet en litteraturstudie följt av en intervjustudie. Optimeringen utfördes sedan huvudsakligen med hjälp av ett kalkylprogram där olika tvärsnittsuppbyggnader (antal skikt, skikttjocklek samt materialkvalitet) analyserades utifrån olika belastningssituationer. Optimeringen har flera avgränsningar, däribland brandkrav och exkludering av osymmetriska KL-träskivor.

Resultatet pekar på att 5- och 7-skiktsskivor av KL-trä lämpar sig bäst för bjälklag tack vare att de klarar längre spännvidder. För väggelement av KL-trä räcker 3-skiktsskivor långt då de snabbt kommer upp i höga kapaciteter då skikttjocklekarna ökar. Vidare kan man utifrån resultatet se att det är flera andra faktorer utöver själva tvärsnittsuppbyggnaden som behöver tas hänsyn till vid en optimering för att den ska bli fullständig. Exempelvis är kostnad en komplex faktor som är svår att ta med i en optimering då man inte kan ta fram en direkt kostnad för ett element utan att blanda in tillverkarspecifika faktorer.

Nyckelord: KL-trä, tvärsnittsuppbyggnad, träbyggnad





## Abstract

Cross-laminated timber, CLT, is a rather new building material. It consists of an odd number of layers consisting of lumber boards stacked together, where each layer is rotated 90 degrees in comparison to the adjacent layers. The material is used both as a load-carrying element as well as a non-load-carrying element, such as stairs.

Today there is only one established producer of CLT in Sweden. Due to the increasing popularity of the material, there are now several other producers that have started or are starting with CLT production. For new CLT producers it is imperative to optimize their products regarding technical and economical aspects. This thesis enlightens how such an optimization can be done and acknowledging which technical aspects that are the most important while optimizing the product selection for a CLT manufacturer.

As a background to the thesis, to get a common knowledge of how CLT works, and to include the producer's view of the manufacturing process and product selection, an initial literature study was conducted, followed by interviews with the manufacturers. The optimization was mainly done using a spreadsheet where different cross sections (number of layers, layer thickness and quality) were analyzed with respect to different load scenarios. The thesis has several limitations including fire performance and exclusion of asymmetrical cross-sections.

The results show that elements consisting of 5 or 7 layers are better suited as a floor system thanks to the fact that they can manage longer spans. Regarding walls, elements consisting of 3 layers are suitable in most cases, as their capacities rapidly increase when the layer thicknesses are increased. Furthermore, the results show that several factors other than the cross-sectional structure need to be considered for the optimization to be complete. Costs are a complex factor to include in an optimization as it is difficult to derive a cost for an element without including factors that are specific for each manufacturer.

Keywords: CLT, cross-sectional structure, timber construction



# Innehållsförteckning

<b>1. BEGREPPSLISTA .....</b>	<b>1</b>
<b>2. INLEDNING.....</b>	<b>3</b>
2.1. SYFTE .....	3
2.2. BAKGRUND.....	3
2.3. FRÅGESTÄLLNINGAR .....	4
2.4. AVGRÄNSNINGAR.....	4
2.5. METOD.....	5
2.5.1. Litteraturstudie.....	5
2.5.2. Intervju.....	5
2.5.3. Optimering.....	6
<b>3. KL-TRÄ IDAG.....</b>	<b>9</b>
3.1. BESKRIVNING AV KL-TRÄ .....	9
3.2. ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN .....	11
3.3. TILLVERKNING .....	15
<b>4. KL-TRÄTILLVERKARNAS PERSPEKTIV .....</b>	<b>19</b>
4.1. TILLVERKARNA .....	19
4.1.1. Respondent 1 .....	19
4.1.2. Respondent 2 .....	19
4.1.3. Respondent 3 .....	19
4.2. TILLVERKNINGSPROCESSEN .....	20
4.3. PRODUKTUTBUDET .....	22
4.4. MARKNADEN.....	24
4.4.1. Respondent 1 .....	25
4.4.2. Respondent 2 .....	25
4.4.3. Respondent 3 .....	26
<b>5. OPTIMERING AV TVÄRSNITTSUPPBYGGNAD.....</b>	<b>27</b>
5.1. FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR OPTIMERINGEN .....	27
5.2. TEORI.....	28
5.2.1. Definition av laster, dimensioneringsgång och partialkoefficienter.....	28
5.2.2. Definition av riktningar och beteckningar.....	31
5.2.3. Momentkapacitet .....	33
5.2.4. Tvärkraftskapacitet med hänsyn till längsskjuvning och rullskjuvning.....	34
5.2.5. Tryckkraftskapacitet.....	37
5.2.6. Kontroll av böjknäckning.....	40
5.2.7. Tvärkraftskapacitet med hänsyn till panelskjuvning .....	41
5.2.8. Dimensionering i bruksgränstillståndet .....	42
5.3. RESULTAT .....	46
5.3.1. Deformation i bruksgränstillståndet.....	48
5.3.2. Kapaciteter för väggsківor.....	49
5.3.3. Jämförelse för deformation mellan Timoshenko-teori och Gammametoden.....	50
<b>6. DISKUSSION.....</b>	<b>53</b>
6.1. JÄMFÖRELSE MELLAN TIMOSHENKO-TEORI OCH GAMMAMETODEN.....	53
6.2. OPTIMERING.....	53
6.2.1. Bjälklagens spännvidder.....	54
6.2.2. Väggar.....	56
6.3. ANKNYTNING TILL INTERVJUSTUDIE.....	57
6.3.1. Sammansättning utifrån materialkvalitet och skiktjocklekar.....	57
6.3.2. Kostnader.....	57
6.4. AVSLUTANDE DISKUSSION.....	58

<b>7. SLUTSATS</b> .....	<b>61</b>
7.1. FÖRSLAG PÅ FORTSATTI STUDIER .....	62
<b>LITTERATURFÖRTECKNING</b> .....	<b>63</b>
<b>APPENDIX A</b> .....	
<b>APPENDIX B</b> .....	
<b>APPENDIX C</b> .....	

# 1. Begreppslista

*Böjstyvhet*

Se *styvhet*.

*Delaminera*

Fenomen då skikt i ett kompositmaterial sönderfaller från varandra.

*Dämpning*

Sammanfattande benämning på effekter som gör att till exempel vibrationer, ljud och svängningar avtar med tiden, eller att storleken av dem minskas.

*Fingerskarvning*

Triangulära spår fräses ur en trälamell och fogas sedan samman med en motsvarande lamell genom limning och pressning.

*Flanktransmission*

Vibrationer som sprids mellan stomdelar via knutpunkter och ger upphov till ljud i angränsande rum.

*Fuktkvot*

Fuktkvoten definieras som kvoten av vattnets vikt i fuktigt material och vikten av det materialet då det är helt uttorkat.

*Hygroskopiskt material*

Material som reagerar på omgivande temperatur och luftfuktighet, och anpassar sig för att hamna i jämvikt med omgivningen.

*Hållfasthetsklass*

För konstruktionsvirke delas hållfasthetsklassen in utefter den karakteristiska böjhållfastheten. Minst 95 av 100 virkesstycken i ett parti ska uppvisa ett värde som är lika med eller överstiger den karakteristiska hållfastheten.

*KL-trä*

Limmad träskiva uppbyggd av lameller där lamellerna limmats i flera lager, där varje lager är roterat 90 grader sett till över- och underliggande lameller. Kallas även CLT, X-lam, cross laminated timber, crosslam, BSP, massivträ.

*Kådlåpa*

En hålighet i en årsring eller mellan två årsringar av barrträvirke (oftast gran), som är helt eller delvis fylld med kåda.

### *Köldbrygga*

Detalj i konstruktion med högre värmeledningsförmåga än den övriga konstruktionen, d.v.s. en detalj som i högre grad leder ut värme från den varmare insidan.

### *Lameller*

Hyvlat virke som fingerskarvas och limmas ihop för att utgöra skikt i en KL-träskiva.

### *Lean*

Lean är en lära som går ut på att maximera kundnyttan och samtidigt minimera slöseri av resurser genom olika typer av effektiviseringar och rationaliseringar.

### *Längsskjuvning*

Skjuvspänning längs fibrerna.

### *Materialkvalitet*

Se *hållfasthetsklass*.

### *Ortotropt material*

Ett material vars egenskaper varierar i tre mot varandra vinkelrätt riktade symmetriaxlar.

### *Rullskjuvning*

Skjuvspänning tvärs fibrerna. Kallas även tvärskjuvning.

### *Statik*

Del inom mekanik som behandlar jämvikt av materiella system i vila.

### *Stomme*

Avser de byggnadsdelar som tillsammans utgör den bärande konstruktionen i en byggnad.

### *Stomkomplettering*

Byggnadsdelar som inte är bärande.

### *Styvhet*

Ett mått på en balk/kropps förmåga att motstå deformation.

### *Värmekapacitet*

Ett mått på den mängd energi som motsvarar en viss temperaturförändring hos en kropp av ett visst material.

### *Öppentid*

Den tid ett lim kan exponeras. Efter att öppentiden överskrids kan inte materialytorna läggas ihop med fullt resultat, d.v.s. limfogen blir svagare efter att öppentiden överskridits.

## 2. Inledning

### 2.1. Syfte

Examensarbetet har flera huvudsakliga syften. Ett av dem är att beskriva egenskaperna hos KL-trä som konstruktionsmaterial och dess användning, samt att beskriva hur tillverkningen av KL-trä går till i Sverige idag. Detta görs som bakgrund för att kunna belysa vilka tekniska egenskaper hos materialet som är viktigast att ta hänsyn till i samband med utformning av produktutbud för KL-trätillverkare.

Vidare är examensarbetet tänkt att ge förslag på hur en optimering av KL-träets tvärsnittsuppbyggnad kan ske utifrån olika belastningssituationer och givna förutsättningar, som till exempel tillgång på och kostnad för råvara.

### 2.2. Bakgrund

Sveriges yta består till 70 % av skog. Av detta nyttjas hela 80 % till skogsbruket, vilket gör Sverige till världens näst största exportör av trävaror. Den svenska skogen avverkas och brukas på ett hållbart sätt, och enbart under de senaste 90 åren har skogens förråd fördubblats. [1]

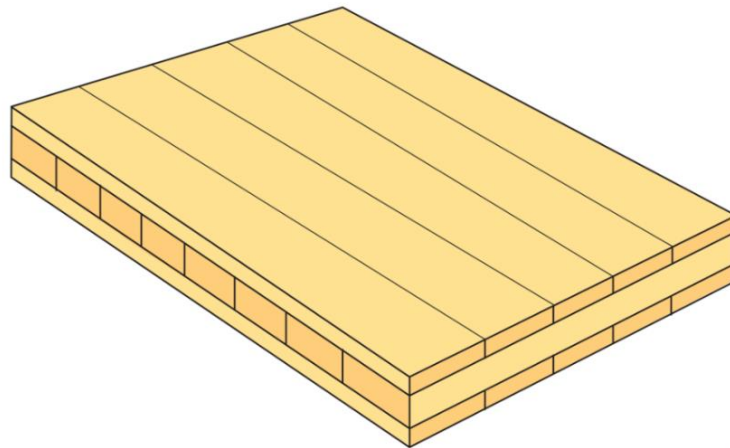
Ett av de 16 svenska miljömålen som beslutades 1999 av Riksdagen var målet ”God bebyggd miljö”:

*”Städer, tätorter och annan bebyggd miljö ska utgöra en god och hälsosam livsmiljö samt medverka till en god regional och global miljö. Natur- och kulturvärden ska tas till vara och utvecklas. Byggnader och anläggningar ska lokaliseras och utformas på ett miljöanpassat sätt och så att en långsiktigt god hushållning med mark, vatten och andra resurser främjas.” [2]*

Sett till utsläpp av koldioxid är träbyggande ett bra alternativ, då trä binder kol under hela sin livstid samtidigt som det ger möjlighet att uppföra ny skog där den tidigare avverkats [3]. Detta kombinerat med det hållbara skogsbruket och den ständiga tillväxten av skog gör träbyggande till ett alternativ som går hand i hand med regeringens miljömål.

Något som under de senaste femton åren blivit allt mer populärt inom träbyggande är KL-trä. Produkten kan liknas vid en storskalig plywood: ett udda antal skikt, som vart och ett är uppbyggt av lameller, limmas samman och varje skikt roteras 90 grader i förhållande till intilliggande skikt, se

Figur 1 nedan. KL-trä används till både väggar och bjälklag och tillverkas av hållfasthets sorterat konstruktionsvirke (normalt gran). [4]



Figur 1 Enkel principuppbyggnad av KL-träskiva med tre skikt [4]

I Sverige finns idag endast en etablerad tillverkare av KL-trä, men flera nya produktionsanläggningar är under uppförande. För KL-träproducenter är det naturligtvis avgörande att man ur ett tekniskt/ekonomiskt perspektiv optimerar sina produkter. Detta examensarbete handlar om att undersöka hur en sådan optimering kan göras.

### 2.3. Frågeställningar

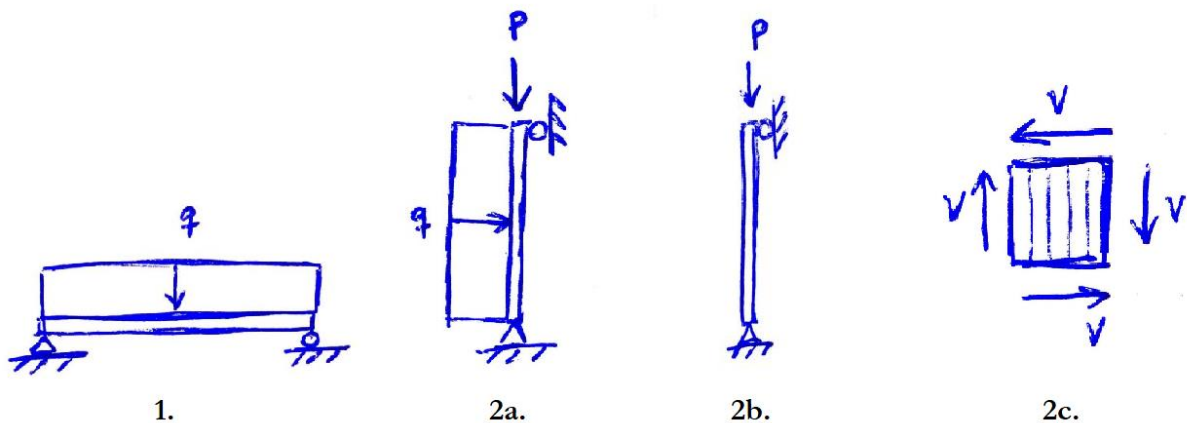
- Hur kan man optimera KL-träets uppbyggnad?
- Vilka parametrar är viktiga att ta hänsyn till i samband med utformning av produktutbudet för KL-trätillverkare? Exempel på parametrar kan vara teknisk prestanda och kostnad.
- Vilka begränsningar har KL-trätillverkarna idag? Begränsas tillverkaren av tillgång på råvara eller produktionstekniska aspekter?

### 2.4. Avgränsningar

Examensarbetet avgränsas till att enbart ta hänsyn till den svenska marknaden och tillverkningsprocessen av KL-trä. Beträffande tillverkningsprocessen utesluts andra aspekter än de produktions specifika, exempelvis logistiska aspekter och tillgänglighet av resurser i form av både personal och råvara.



Optimeringen omfattas av ett urval belastningssituationer som byggnadsdelarna bjälklag och vägg kan utsättas för, se Figur 2. Dessa belastningssituationer är böjmoment och tvärkraft (1), samtidig tryckkraft och böjmoment (böjknäckning, 2a), tryckkraft (2b) och panelskjuvning (2c). Även deformationsberäkningar ingår för (1). Vid optimeringen antas bjälklagsskivor vara enkelspända, vilket innebär att de endast bär i en riktning. Ytterligare optimeringsspecifika förutsättningar återfinns i Kapitel 5.1.



Figur 2 Belastningssituationer som omfattas av optimeringen.

## 2.5. Metod

### 2.5.1. Litteraturstudie

En litteraturstudie har utförts för att ta fram underlag till Kapitel 3 samt för att få en grundläggande förståelse för materialet och tillverkningsprocessen inför intervjuerna, som redovisas i Kapitel 4. Litteratur har inhämtats från både fysiskt, tryckt material av bland annat den svenska branschorganisationen Svenskt Trä, samt från elektroniskt material i form av bland annat handböcker och diverse rapporter. Den elektroniska litteraturen har hittats och hämtats från sökningar på hemsidan för Campus Helsingborgs bibliotek och på Google. Centrala källor för inhämtning av litteratur i examensarbetet är KL-trähandbok [4] och TräGuiden.se. Exempel på sökord som använts vid sökningarna på Google är: KL-trä, CLT.

### 2.5.2. Intervju

För att kunna besvara frågeställningarna – och för att få en djupare förståelse för KL-träets tillverkningsprocess samt hur aktörerna på marknaden resonerar – har kvalitativa intervjuer med

tre olika aktörer inom svensk KL-trätillverkning utförts under våren 2019. Underlaget inför samtliga intervjuer bestod av 22–27 frågor, där en del av underlaget var specifika frågor till respektive Respondent (sista rubriken i intervjuunderlaget, Appendix A) och resterande delar av underlaget var gemensamt för alla respondenter. Frågorna togs fram genom analys av litteratur och diskussion, med syfte att få en djupare förståelse för hur svenska tillverkare inom marknaden för KL-trä resonerar och för att få ta del av deras perspektiv kring bland annat framtagning av produktutbud. Underlaget inför varje intervju skickades ut via mejl under vecka 10 till samtliga respondenter. I utskicket fick respondenterna välja huruvida de ville genomföra intervjun via telefon eller svara på frågorna i ett vändande mejl. Intervjuunderlagen presenteras i Appendix A.

En Respondent svarade på intervjufrågorna via mail och de resterande två intervjuerna genomfördes via telefonsamtal med respondenterna under vecka 11. Frågorna som ställdes var av relativt låg grad av standardisering, vilket kan förklaras som att frågorna nödvändigtvis inte ställdes i den ordning de presenterats i underlaget, utan respondenten fick styra intervjun och sina svar till en stor del. [5] Frågorna har också ställts utan svarsalternativ vilket har gett respondenten möjligheten att själv bestämma strukturen och omfattningen på svaret. Telefonintervjuerna spelades in via en app i mobiltelefonen. Efteråt lyssnades intervjuerna igenom för att sedan transkriberas. Resultatet av intervjuerna presenteras i Kapitel 4.

### 2.5.3. Optimering

Optimeringen i rapporten omfattar 3-, 5- och 7-skiktsskivor som utsätts för olika belastningssituationer. För varje  $n$ -skiktsskiva togs ett antal varianter av skiktsammansättning fram. De olika skiktsammansättningarna innefattar både homogena element med endast en hållfasthetsklass, samt heterogena element med två olika hållfasthetsklasser. Skiktsammansättningen varierar också med hänsyn till olika lamelltjocklekar. Samtliga skikt (både längsgående och tvärgående) i ett element är antingen av samma lamelltjocklek eller varierar mellan en dimension i längsgående och en annan dimension i tvärgående (symmetri råder).

För alla varianter av KL-träelement som togs fram beräknades kapaciteterna för de belastningssituationer som rapporten är avgränsad till. Den maximala spännvidden för alla element som utgör bjälklag beräknades fram utifrån nedböjningskravet  $L/300$ , ett punklastkrav och krav med hänsyn till lägsta egenfrekvens (8 Hz). Punktlastkravet säger att ett bjälklag med en statisk last på 1 kN inte får ha en nedböjning som överstiger  $a = 1,5$  mm. Värdet på  $a$  valdes utifrån Boverkets

rekommendation. Efter att samtliga kapaciteter och maximala spännvidder framtagits analyserades de. Jämförelser gjordes för olika KL-träskivor med liknande tvärsnittshöjder men olika antal skikt, där man bland annat tittade på hur de dimensionerande maximala spännvidderna skiljde sig för olika skivor.

Optimeringen är huvudsakligen genomförd i Microsoft Excel med undantag av spännvidderna som har beräknats i MATLAB. MATLAB-kod redovisas i Appendix C. Alla beräkningsgångar, formler samt annan bakgrund till optimeringen så som värden på partialkoefficienter och reduktionsfaktorer etcetera som används i Excel finns presenterade i Kapitel 5.2. Använda materialvärden och aktuella laster finns presenterade i Kapitel 5.3.



### 3. KL-trä idag

Innehållet i Kapitel 3 är baserat på litteraturstudier. Se Kapitel 2.5.1 för mer ingående beskrivning kring tillvägagångssättet.

#### 3.1. Beskrivning av KL-trä

KL-trä är ett förhållandevis nytt konstruktionsmaterial, som började se dagens ljus i Österrike under 1990-talet. Här började industrin och universiteten gemensamt arbeta fram ett nytt konstruktionsmaterial som värnade om miljön, men som samtidigt var starkt och hade ett stort användningsområde. Slutresultatet blev KL-träskivor, som först började introduceras på marknaderna i Österrike och Tyskland. [6]

Användandet av KL-trä började försiktigt, men har under de senaste åren ökat för varje år, och år 2020 förväntas den totala produktionen i princip fördubblas jämfört med 2016 för de största tillverkarna i Europa. På den europeiska marknaden är några av de största tillverkarna idag Binderholz, Stora Enso och Legal & General. På grund av uppkomsten i Österrike/Tyskland är det där de allra största tillverkarna finns idag, men fler tillverkare runt om i Europa är på väg att starta produktion. [7]

I Sverige har Martinsons länge varit ensam tillverkare av KL-trä. Deras tillverkning sker vid produktionsanläggningen i Bygdsiljum. De har producerat KL-trä sedan 2003, och har idag en kapacitet att årligen tillverka 40 000 m<sup>3</sup>. [8] Den stora efterfrågan på marknaden har nu fått fler producenter att agera, och bara i Sverige kommer nu bland annat Södra, Setra och Stora Enso att satsa på produktionsanläggningar för just KL-trä. Dessa satsningar kommer att innebära att den teoretiska produktionskapaciteten inom två år har sjufaldigats i Sverige. [9]

En KL-träskiva är uppbyggd av ett udda antal skikt, där varje skikt är uppbyggt av trälameller som ligger parallellt med varandra. Dessa skikt roteras sedan 90 grader relativt intilliggande skikt, och limmas sedan ihop. Variationen på tvärsnittsuppbyggnader kan göras på flera olika sätt. Vanligtvis består ett tvärsnitt av maximalt sju separata skikt, men det finns varianter med fler än så. Skiktjocklekarna i skivorna kan variera med olika tjocklek för lamellerna i längd- och tvärriktning. Likaså kan hållfasthetsklassen i de båda riktningarna varieras. Denna uppbyggnad ger materialet både hög styvhet och hållfasthet, och materialet kan då med fördel användas som bland annat stommaterial i större konstruktioner. [4]

Med fiberriktningen åt två olika håll jämnas träets ortotropa egenskaper ut, och skillnaderna i produkttegenskaper beroende på riktningen minskas. Kapaciteterna för materialet KL-trä bestäms till stor del av skivans tvärsnittsuppbyggnad. KL-trä har även en förhållandevis låg densitet, där värden mellan 350–450 kg/m<sup>3</sup> används, beroende på uppbyggnad [4]. För betong, som KL-trä ofta jämförs med, brukar densiteten anges till mellan 2300 och 2400 kg/m<sup>3</sup>. [10]

Jämfört med till exempel stål och betong har KL-trä en avsevärt bättre värmeisoleringsförmåga. Värmeledningsförmågan och värmekapaciteten för KL-trä kan jämföras med den för vanligt konstruktionsvirke. Den låga värmeledningsförmågan bidrar till att golv och väggar håller en temperatur som kan uppfattas som konstant, utan snabba temperaturförändringar. Detta kombinerat med att de genomgående köldbryggorna i till exempel en väggkonstruktion av KL-trä blir få, gör att KL-trä bidrar till ett bra inneklimat för de som vistas i byggnaden. [4] [11]

Ur brandteknisk synpunkt är KL-trä (och trä över lag) ett bra alternativ, då antändningen är trög och ett skyddande kolskikt bildas under brand som gör att materialegenskaperna innanför kolskiktet bibehålls. Beroende på vilket lim som används i KL-träskivan, bör olika förkolningshastigheter tas i beaktning. Används exempelvis ett melamin-urea-formaldehyd-lim (MUF) som inte delaminerar – separerar mellan skikt – kan samma förkolningshastighet användas som för konstruktionsvirke. Används istället ett lim som delaminerar, såsom polyuretanlim (PUR), fördubblas denna hastighet för de första 25 millimetrarna av varje skikt [4]. Förkolningshastigheten, eller inbränningshastigheten, för barrträ ligger mellan 0,65–0,80 mm/minut. [12]

Ur ett ljudisolerande perspektiv har KL-trä både sina för- och nackdelar. Lätta konstruktions- och stommaterial (dit KL-trä räknas) har goda ljudisolerande egenskaper när det kommer till luftburna ljud, till exempel ljud från samtal och TV. Likaså isolerar det effektivt bort ljud från installationer i byggnaden. [13] KL-träets förhållandevis låga densitet medför dock att materialet blir känsligt för vibrationer som kan uppstå via exempelvis fotsteg eller flanktransmissioner. Dessa vibrationer kan reduceras genom att isolerande/dämpande komponenter installeras i konstruktionen för att minska flanktransmissionen, och stegljudsisolering för att undvika höga stegljud. Detta måste tas hänsyn till tidigt i projekteringen, för att undvika dyra kostnader för att i efterhand göra åtgärder. [4]

Då trä har stora fuktbevägrade rörelser kommer KL-träet att svälla och krympa med varierande fuktkvot. KL-trä produceras vanligtvis med en målfuktkvot på 12%. Denna fuktkvot ändras sedan när KL-träet används, då trä är ett hygroskopiskt material som ställer in sig på samma relativa

fuktighet som omgivningen den vistas i. Detta gör att fuktkvoten i materialet varierar över tid, och kan således krympa och svälla olika under olika årstider. [4]

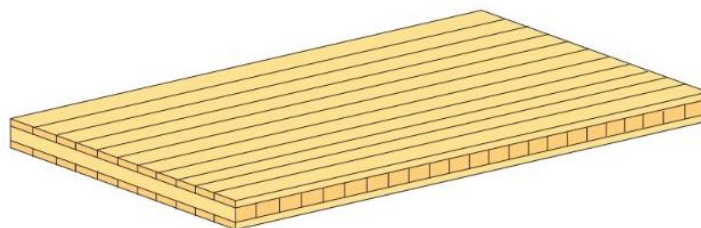
### 3.2. Användningsområden

KL-trä har flera utarbetade användningsområden och används idag både som stomelement och stomkompletteringar i byggnader i allt från småhus till större flervåningshus och kommersiella fastigheter. De dominerande användningsområdena för produkten är dock i stomkonstruktioner som bärande planelement i form av väggar och bjälklag av olika slag. [4]

Det finns flera fördelar med att använda sig av en stomme i KL-trä. De stora elementen som tillverkas kan med fördel användas till både väggar och bjälklag tack vare deras stabiliserande förmåga, höga bärförmåga och styvhet. Elementen har även en hög prefabriceringsgrad då man redan vid tillverkningen kan utföra håltagning till installationer, dörr- och fönsterhål etcetera. Detta medför tidseffektivitet i byggprojekten och möjliggör ett smidigt montage för byggtreprenören. [4]

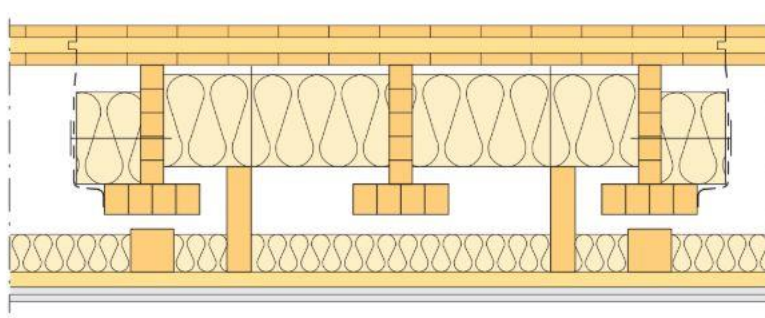
Ett bjälklags huvudsakliga uppgift i en byggnad är att ta upp horisontella laster från vindlast, samt vertikala laster från egentyngder och nyttiga laster. Dessa laster förs sedan vidare ned i byggnaden via vertikala bärverk. Ett bjälklag kan också vara en del av byggnadens stomstabilisering. Bjälklagen har även krav på ljudisolering, brandskydd samt svikt/vibrations- och nedböjningskrav.

Det finns tre olika typer av bjälklag uppbyggda av KL-trä: plattbjälklag, kassett- och hålbjälklag samt samverkansbjälklag. Den vanligast förekommande typen av KL-träbjälklag är plattbjälklaget. Den bärande konstruktionen består i detta fall enbart av ett KL-träelement med ett visst antal skikt, där KL-träplattan ensam tar upp all last och för den vidare nedåt i byggnaden. För att ljud-, och brandkrav ska uppfyllas kan bjälklaget komma att behöva kompletteras med exempelvis undertak och/eller isolering. Se plattbjälklagets uppbyggnad i Figur 3 nedan. [14]

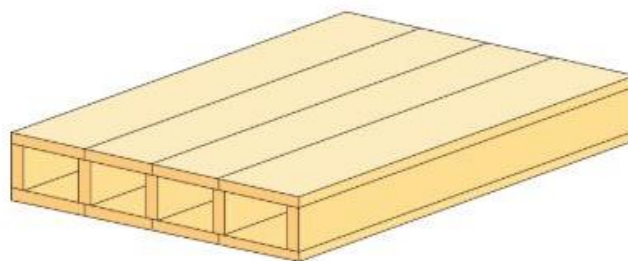


Figur 3 Principuppbyggnad av plattbjälklag. Figuren visar ett plattbjälklag uppbyggt av tre skikt. [4]

Kassett- och hålbjälklag karakteriseras av att KL-träplattan är kompletterad med livbalkar på ovansidan eller undersidan som ökar bjälklagets styvhet. Livbalkarna, som kan vara med eller utan flänsar, medför att bjälklaget klarar större laster och längre spännvidder än ett vanligt plattbjälklag. Kassettbjälklagets hålrum fylls i regel med isolering för att uppnå de krav som finns gällande akustik och brand. Hålbjälklaget består av två KL-träplattor som hopfogas med mellanliggande livbalkar. Livbalkarna kan med fördel bestå av limträ för att ha ett bjälklag helt utfört i trä. Hålbjälklag är inte ett vanligt utförandealternativ för KL-träbjälklag i Sverige idag. Se Figur 4 och Figur 5 nedan för exempel på uppbyggnad av kassett- och hålbjälklag. [14]



Figur 4 Principuppbyggnad av kassettbjälklag med livbalkar och flänsar av limträ samt ett inhängt undertak [4]

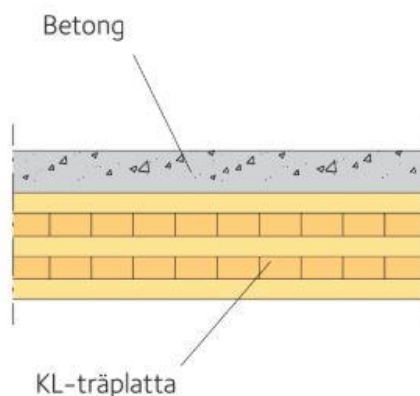


Figur 5 Enkel principuppbyggnad av hålbjälklag [4]

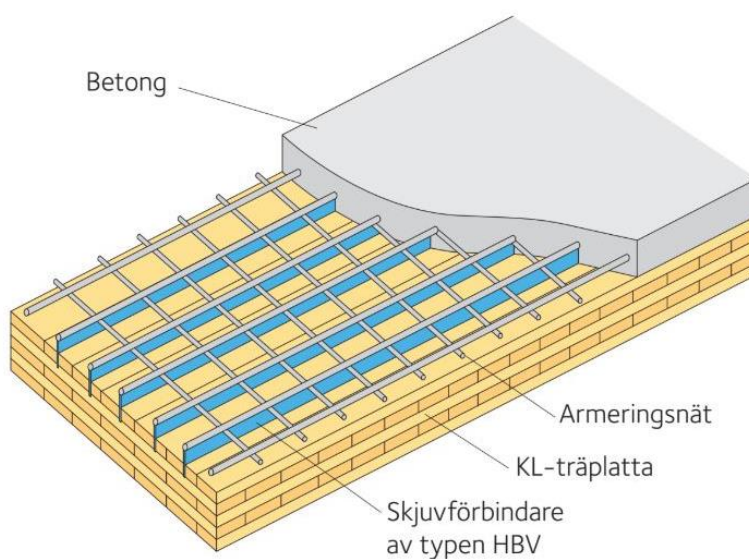
Den tredje typen av KL-träbjälklag som förekommer är samverkansbjälklag. Detta bjälklag är inte homogent utan består av två delar; dels av en KL-träplatta på undersidan, dels av en pågjuten och armerad betongplatta på ovansidan. Se Figur 6 för principuppbyggnad. Sammanfogningen mellan träet och betongen utförs med hjälp av någon typ av så kallad skjuvförbindare, vars syfte är att minska glidningen mellan de två materialen och på så vis uppnå samverkan mellan materialen, se Figur 7. Den samverkan som uppstår i kompositmaterialiet av trä och betong är väldigt effektiv på ett sådant sätt att betongen tar upp de huvudsakliga tryckkrafterna i konstruktionen medan träet tar upp dragkrafterna. Samverkan medför att konstruktionens böjstyvhet ökar, vilket innebär att



denna typ av bjälklag med fördel kan användas vid konstruktioner med långa spännvidder. Ännu en fördel med samverkansbjälklag är att dämpningen är bättre här jämfört med vad den är hos homogena KL-träbjälklag, vilket gör bjälklaget mer motståndskraftigt mot svikt och vibrationer. [14]



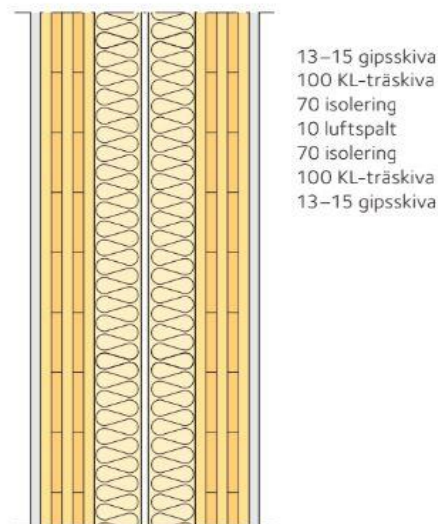
Figur 6 Principuppbyggnad av samverkansbjälklag i sektionssnitt [4]



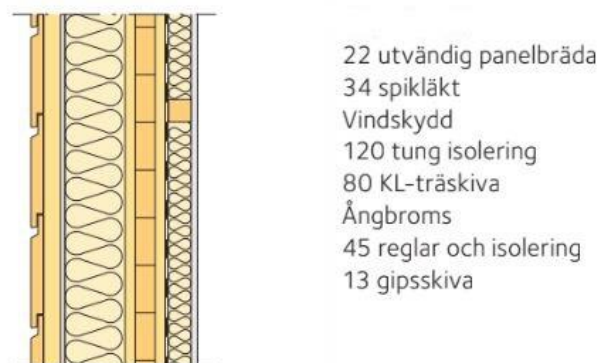
Figur 7 Samverkansbjälklag med skjuvförbindare av typen Holz-Beton-Verbund [4]

Väggar ingår vanligtvis i den bärande konstruktionen i en byggnad. Väggens uppgift är – förutom att vara bärande – att även vara avskiljande, sett till både brand- och akustikkraV. Då väggen är bärande är dess huvudsakliga uppgift att ta hand om vertikala laster ovanifrån (och för ytterväggar även horisontella laster från vind) som ska fördelas vidare till anslutande grund. En annan uppgift väggen kan ha är att vara stomstabiliserande och ta hand om last från bjälklaget som uppkommer på grund av horisontella vindlaster mot ytterväggarna. [15]

KL-trä fungerar bra som bärande vägg i byggnadsstommar. KL-träelementet kan vid behov också förstärkas ytterligare med hänsyn till styvhet i sidled, genom att man kompletterar elementet med utanpåliggande reglar. Väggens utformning styrs oftast av akustikkraV och brandkraV, och KL-träskivan kan behöva att kläs in i exempelvis isolering eller gips för att klara kraven. Väggen kan å andra sidan också vara utformad med en synlig yta av KL-trä av estetiska skäl. Figur 8 och Figur 9 nedan redovisar olika typer av utföranden för väggar av KL-trä [4]. Fördelarna med att använda sig av väggelement av KL-trä är – likt för bjälklag – främst möjligheterna med montaget på byggarbetsplatsen samt den höga prefabriceringsgraden. Även för väggar kan element av KL-trä fås levererade till byggarbetsplatsen med förbearbetade hål för exempelvis dörrar, fönster eller installationer. KL-träelementen kan även levereras som nästintill färdiga ytterväggar med isolering, fasadmaterial och fönster/dörrar. [4]



Figur 8 Tvärsnittsuppbyggnad av en lägenbetskyljande, bärande vägg av KL-trä. [4]



Figur 9 Tvärsnittsuppbyggnad av en yttervägg med bärande skikt av KL-trä. [4]

Andra användningsområden som är aktuella för KL-trä kan bland annat vara i hisschakt eller som balkongplatta, trapphus och loftgångar. [4] Följaktligen kan sägas att KL-trä har möjligheter att ersätta både bjälklag av olika slag, bärande väggelement och stomkomplement som annars oftast är konstruerade av stål eller betong. Eftersom trä i sig är ett förnybart byggmaterial – vars råvara i princip finns i oändlig tillgång i vår svenska natur – är det bättre ur miljösynpunkt jämfört med både stål och betong. [3] Till skillnad från trä, används ändliga råvaror vid både stål- och betongtillverkning, i form av järn vid ståltillverkning och kalksten vid betongtillverkning. [16]

### 3.3. Tillverkning

KL-träet tillverkas av hållfasthetssorterat virke, i Sverige vanligtvis gran eller furu. Virket kan komma från ett sågverk i direkt anslutning till KL-träfabriken, eller köpas in (internt eller externt) från sågverk belägna på andra platser. Om inte KL-träet som tillverkas enbart ska fylla konstruktionsmässiga krav, kan det även ställas krav på skivornas estetik. Detta innebär visuella krav på de yttersta lagren, där det inte får förekomma exempelvis kvistar och kådlåpor i samma utsträckning som för en ej synlig yta. KL-träet delas därför in i olika utseendeklasser beroende på utseendet hos de yttre skikten. [4]

När virke väljs ut ställs även krav på dess fuktkvot, som tidigare nämnt bör ligga i intervallet  $12 \pm 3\%$  för att kunna säkerställa slutproduktens kvalitet. För att undvika varierande fuktbetingade rörelser, som ger upphov till spänningar i materialet, bör inte heller fuktkvoten skilja med mer än 5 procentenheter för intilliggande skikt. [4]

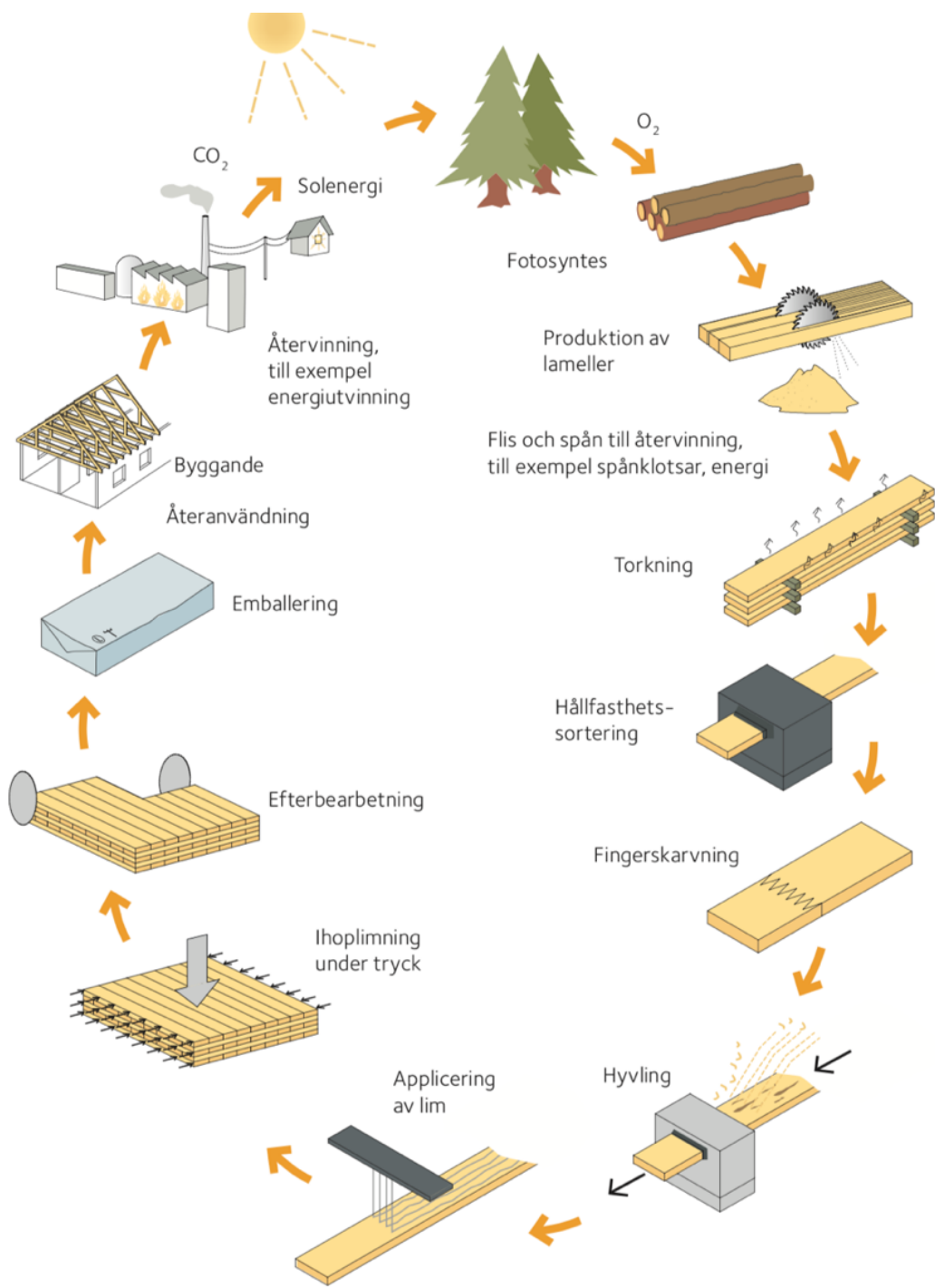
Efter att virket sågats och hållfasthetssorterats, fingerskarvas och hyvlas det för att uppnå rätt tjocklek, men även för att få en plan yta som underlättar limmandet vid ett senare skede. Efter detta läggs lim på lamellerna, och de är nu redo att limmas ihop till en kontinuerlig skiva. Tillverkarna kan använda sig av flertalet olika lim, och användandet kan bero på var i världen tillverkningen sker. I Europa är det vanligt att limning sker med PUR eller MUF, medan det i Nordamerika är vanligare med fenol-resorcinol-formaldehyd (PRF). Förutom olika egenskaper när det kommer till exempel hållfasthet, fukt- och brandbeständighet besitter de även olika estetiska egenskaper. PUR-lim är ett ljusare lim som inte märkbart syns i skarvarna, medan PRF-lim har en mörkbrun färg som snabbt går att identifiera i limskarvarna i träet. PRF-lim är godkänt att användas vid alla klimatklasser, till skillnad från PUR-lim som endast får användas vid klimatklass 1 och 2. Ibland sker även kantlimning av virket, det vill säga att lamellerna inom samma skikt först limmas samman till skivor för att sedan limmas vinkelrätt på en annan skiva. [6] [17]

Efter det att limmet är applicerat skickas skivan direkt till pressning, där skivorna pålastas ett tryck för att bättre vidhäftning ska uppstå mellan skikten. Denna pressning utförs på två olika sätt, via vakuumpressning eller hydraulisk pressning. Vakuumpressen kan ge ett jämnare tryck även om materialytan är ojämn, men kan inte uppnå ett tryck mycket högre än 0.1 MPa. Detta tryck kan vara för lågt för att igenom hela tvärsnittet överkomma ojämnheter mellan lagren och uppnå en så stor kontaktyta som möjligt. Dessa problem kan delvis undvikas genom att såga längsgående skårar i skivan, för att på så sätt minska spänningar och undvika sprickor om fuktkvoten sedan ändras, se Figur 10 nedan. Jämförelsevis kan en hydraulisk press uppnå ett presstryck uppåt 6 MPa. Såvida lamellerna inte är kantlimmade är det nödvändigt att både ha vertikalt och horisontellt tryck på skivan, för att förhindra att det inte uppstår glipor mellan lamellerna i de olika skikten. Pressningen sker sedan under en tid som kan variera allt mellan tio minuter och flertalet timmar, beroende på vilket lim som används. Generellt sett tar PRF längre tid att härda än PUR. [6]



*Figur 10 Längsgående sågade skårar för att reducera spänningar, foto taget av FPIinnovations [6]*

Slutligen förs skivan till efterbearbetning i CNC-maskiner. Här putsas de yttersta skikten, och eventuell håltagning utförs för exempelvis fönster, dörrar och installationer. Ytterligare bearbetning kan även göras hos tillverkare, såsom komplettering med till exempel isolering och fönster för att få ett komplett väggelement. En illustration över alla ingående steg i tillverkningsprocessen och träets livscykel redovisas i Figur 11.



Figur 11 Schematisk bild över KL-träproduktion [4]



## 4. KL-trätillverkarnas perspektiv

Kapitel 4 bygger på kvalitativa intervjuer med tre aktörer på den svenska marknaden för KL-trätillverkning. Kapitlet beskriver inledningsvis vilka aktörerna är och följs sedan av resultatet från de utförda intervjuerna. Intervjuunderlagen finns redovisat i Tabell A1 - A3 Appendix A.

### 4.1. Tillverkarna

#### 4.1.1. Respondent 1

Daniel Wilded, produktchef på Martinsons Byggsystem AB. Martinsons Byggsystem AB är ett av tre bolag som tillsammans bildar koncernen Martinsons Group AB. Martinsons Byggsystem är den del av koncernen som står för utveckling, konstruktion samt uppförande av byggnader och flervåningshus med stommar i lim- och KL-trä. Övriga bolag i koncernen är Martinsons Trä AB som säljer koncernens vidareförädlade varor, samt Martinsons Såg AB som står för produktionen av sågade och vidareförädlade varor samt limträprodukter. Totalt har hela koncernen cirka 475 anställda som, förutom på huvudkontoret i Bygdsiljum, finns i Kroksjön och Umeå. Koncernen omsätter knappt två miljarder SEK. [18]

#### 4.1.2. Respondent 2

Anna-Lena Gull, projektledare KL-trä på Setra Group AB. Setra bildades under 2003 efter en sammanslagning av företagen Mellanskog Industri AB och AssiDomän Timber Holding AB, för att pånyttskapa en drivande kraft inom den moderna träindustrin. Inom koncernen finns åtta sågverk och tre förädlingsenheter. Huvudkontoret ligger i Solna, och koncernen har cirka 800 anställda. Man tillverkar inom koncernen sågade trävaror i furu och gran, förädlade trävaror (limträ, inner- och ytterpaneler, KL-trä) och bioprodukter som flis och spån. Bolaget omsätter cirka fyra miljarder SEK, där 65% är export till marknader i Europa, Nordafrika, Mellanöstern och Asien. [19]

#### 4.1.3. Respondent 3

Urban Blomster, projekt- och marknadsansvarig på Södra Building Systems. Södra Skogsägarna är en ekonomisk förening och ägs av 52 000 skogsägare i södra Sverige. Dessa medlemmar är organiserade i 36 separata skogsbruksområden. Koncernen är uppdelad i tre affärsområden, Södra

Skog, Södra Wood och Södra Cell. Södra Skog köper råvaran från medlemmarna för att leverera denna till Södras industri. Södra Wood är indelat i två produktområden, sågade trävaror och byggsystem i trä. Byggsystem i trä är nystartat och här kommer KL-trä att ingå som en första satsning. Södra Cell är en av Europas ledande tillverkare av massa för avsalumarknaden. Södras huvudkontor ligger i Växjö, och 2018 var man drygt 3100 anställda och omsatte knappt 25 miljarder SEK. [20]

## 4.2. Tillverkningsprocessen

Tillverkningsprocessen beskriven i Kapitel 3.3 gäller generellt även för de tre intervjuade företagen, även om det givetvis förekommer skillnader. Samtliga intervjuade företag har sågverk i nära anslutning till respektive KL-träfabrik. Respondent 1 och 3 berättar att de har sågverk i direkt anslutning till tillverkningen. Respondent 2 har istället sågverket cirka åtta mil ifrån, men de har en rak försörjningskedja mellan sågverket och fabriken, vilket i förlängningen blir i princip samma sak som att ha sågverket i direkt anslutning till fabriken då det sågade virket förs direkt till KL-träfabriken. Efter kvalitetssäkringen av virket fingerskarvas sedan lamellerna, en process som är densamma hos alla tre företagen.

Efter fingerskarvningen skiljer sig tillverkningsprocesserna hos de olika företagen åt. Respondent 1 och 3 berättar att de väljer att inte kantlimma sina produkter. Respondent 1 motiverar detta med att det i och med krympningar och svällningar bildas mörksprickor i träet vilket huvudsakligen är ett estetiskt problem. Som resultat av detta vänder respondenten lamellerna med mörken utåt i ytterskikten. Respondent 1 säger fortsättningsvis att det i Finland ställs krav på kantlimning på grund av täthetskrav, men att det visat sig att deras KL-träskivor är helt täta även utan kantlimning. Respondent 3 motiverar deras val att inte kantlimma sina produkter med att de vill minimera åtgången lim, och samtidigt kunna sänka produktionskostnaderna för elementen. Respondenten fyller i med att säga att arbetsinsatsen är större än nyttan med kantlimning. Samtidigt berättar Respondent 2 om deras tankegångar bakom deras val att kantlimma sina produkter. Detta ska enligt respondenten öka produktiviteten och produktionssäkerheten, då ingenting av misstag kan överlappas under uppläggning av de olika lagren. Detta menar respondenten sparar tid under öppetiden, och samma bemanning kommer antagligen inte behövas vid de momenten. De menar även att kantlimningen bidrar till estetiska fördelar för interiöra kvaliteter. Till kantlimningen säger respondenten att företaget använder sig av ett EPI-lim. Alla tre respondenter använder sig sedan vid limningen av ett PUR-lim. Respondent 3 säger att det fungerar väl ur miljö- och hälsosynpunkt samtidigt som det har bra brandmotstånd. Respondent 1 säger att de tidigare använt sig av ett



MUF-lim, något de nu dock gått ifrån till fördel för ett PUR-lim. I och med att Respondent 1 byggde en ny fabrik anpassades den nya produktionen till ett PUR-lim, för att komma från MUF-lim och dess formaldehydinnehåll.

Då Respondent 2 och 3 båda är i uppstartsfasen har de svårt att såhär tidigt specificera vad för slags flaskhalsar som finns i deras produktion, var det kan uppstå produktionstekniska svårigheter och i vilka delprocesser det finns störst utvecklingspotential. Respondent 2 påpekar dock att ett känsligt moment som uppstår är det från och med att limmet lagts på lamellerna. Man vill då hålla ned öppen- och presstiderna så mycket man kan, men detta kan då leda till att det finns mindre tid att justera eventuella fel som kan uppstå under själva uppläggningsen. Respondent 1 förklarar att produktionsprocessen är komplex med flertalet ingående parametrar som påverkar och att flaskhalsar i produktionen ständigt flyttar sig, men att mycket av svårigheterna ligger i att respondenten både jobbar med byggprojekt och industriell produktion. I och med att lean blivit stort inom industrin är det viktigt att optimera ur denna synpunkt genom att producera så stora volymer som möjligt som är enkla att producera. Samtidigt är det i byggindustrin inte vanligt med massproducerade detaljer som alla ser likadana ut och är av samma mått, utan industrin kräver istället specifika element i högre grad, för att kunna bemöta exempelvis de arkitektoniska krav som kan ställas på en byggnad. Respondent 1 fortsätter med att det finns utvecklingspotential i att hitta en bra balans mellan produktion av KL-träelementen och att öka effektiviteten på byggarbetsplatsen. Att effektivisera produktionen och optimera denna så att elementet är helt klart att montera när det kommer fram till byggarbetsplatsen låter givetvis bra ur många synpunkter, men till vilka extrakostnader? Respondent 1 nämner ett exempel på ett litet genomgående hål i ett KL-träelement. För att projektera detta behöver det gå igenom ingenjör och arkitekt för design och funktion, vilket tar tid och kostar pengar. Under produktionen måste sedan ett extra moment göras för att hålet ska fräsas ur. Är projekteringen sedan felgjord och hålet hamnar på fel ställe blir det ännu dyrare att sedan åtgärda. Levereras istället elementet till bygget utan hål, som istället borrar för hand på någon minut har både tid och pengar sparats. Respondent 1 menar att det växlar mellan att effektivisera byggarbetsplatserna, men samtidigt få produktionen i fabriken att bli effektivare. På så sätt blir det ett givande och tagande från båda håll.

Både Respondent 1 och 2 förklarar att de båda jobbar med en onlineproduktion utan någon lagerhållning. Detta innebär att varje lamell som tillverkas redan har en bestämd slutdestination. Samtliga element som tillverkas blir alltså helt kundspecifika. Hos Respondent 1 ser de ingen fördel med att lagra KL-träelement eftersom ett element då efter limning och pressning måste tas ur

produktionslinjen innan CNC-bearbetningen, för att sedan föras in i linjen igen för håltagning innan den levereras till slutkund. Respondent 1 menar dock att lagerhållning, även om det kanske går emot lean-principen, är något som ändå kanske bör undersökas. Respondenten berättar att de länge var ensamma med att ha en CNC-maskin av sitt slag i Sverige, samtidigt som det i Tyskland fanns över 200 CNC-maskiner av liknande modell, men endast ett fåtal fler KL-trätillverkare. Principen där är att småhustillverkare (motsvarande Myresjöhus, Älvsbyhus, A-hus etcetera) köper upp och lagerhåller större volymer KL-träskivor, och bearbetar sedan dessa själva för användning i sina hus. Respondent 1 menar att detta är en spännande väg att gå, men att småhustillverkarna i Sverige idag först måste börja med KL-trä i större utsträckning. Vidare säger respondenten att det även finns en möjlighet att hos byggvaruhandlare lagerföra tunnare KL-träelement för privatpersoner att köpa. Respondent 3 å andra sidan planerar inte att ha en onlineproduktion, utan kommer istället ha buffertlager i flera steg. Detta ser de som en fördel ur en effektiviseringssynpunkt, då det reducerar eller helt tar bort ledtider i produktionsprocessen.

Andra tekniska begränsningar i produktionen är dimensioner och volymer. Respondent 2 kan som störst tillverka skivor av måtten  $3.6 \times 20 \text{ m}^2$ , Respondent 1 av måtten  $3 \times 16 \text{ m}^2$  och Respondent 3 av måtten  $3 \times 12 \text{ m}^2$ . Respondent 3 räknar med att kunna ha en kapacitet på  $15\,000 \text{ m}^3$  i sin fabrik, Respondent 1 har en kapacitet på  $40\,000 \text{ m}^3$  och Respondent 2 en kapacitet på  $55\,000 \text{ m}^3$ .

### 4.3. Produktutbudet

Sammantaget kan det tolkas av samtliga respondenter att det varken är den totala tjockleken på KL-träelementet som styr lamelltjockleken eller vice versa. Enligt de tre företag som intervjuats är det mer komplext än så. Enligt Respondent 3 beror produktens sammansättning och totala tjocklek på vilket syfte och vilken placering KL-träskivan har i byggnaden. Vidare är styrande parametrar för val av lamelltjocklekar och total tjocklek brandkrav, akustik och statik. Respondent 2 menar att ett KL-träelement av en viss totaltjocklek kan bestå av olika uppbyggnad med olika tjocka lameller. Bland annat används grövre (tjockare) lameller i en viss riktning när elementet ska användas som bjälklag, gentemot när det är tänkt att användas som vägg. Vidare ställs även produkterna inför brandkrav som kan medföra exempelvis att de yttre skikten i ett element har tjockare lameller än övriga skikt. Respondent 1 berättar att lamelltjocklekarna som förekommer i KL-träelementen i deras produkter är de tjocklekar som är dominerande på den europeiska och på den globala marknaden. De aktuella dimensionerna är 20, 30 och 40 mm. Dessa dimensioner kompletteras med tjockleken 45 mm, som används i limträ och som konstruktionsvirke i Sverige. Dessa lamelltjocklekarna kombineras på olika sätt beroende på ändamål och krav. Det som också styr,

enligt Respondent 1, är att man vill optimera råvaran så mycket som möjligt sett till minimal hyvling av det sågade virket.

Produktutbudet hos Respondent 1 är framtaget med slutanvändning i åtanke, och bygger på lång erfarenhet i samspel med att uppfylla aktuella brandkrav. 3-skiktsskivor klarar generellt sett inte särskilt långa spännvidder vid användning som bjälklag och passar därmed bättre som väggskivor. 5-skiktsskivor klarar längre spännvidder vid användning som bjälklag, och därför är i princip alla 5-skiktsskivor i sortimentet hos Respondent 1 framtagna utifrån syftet att utgöra bjälklagsskivor. Dock finns det undantag för vissa 5-skiktsskivor och 7-skiktsskivor, vars huvudsakliga syfte är att vara bärande och stabiliserande väggar i flervåningshus. Även produktutbudet hos Respondent 2 är framtaget med slutanvändningen i åtanke. Respondent 2 menar att om KL-träskivor ska användas som bjälklag är det bättre att ha en skiva där det längsgående skiktet är ytterst. Tvärtom har man med fördel KL-träskivor med tvärgående skikt ytterst (så kallade C-element) som väggar. Vidare menar Respondent 2 det inte finns någon större mening med att tillverka tjocka C-element som ska användas som vägg, utan att det är bättre lämpat med tjocka element där det yttre skiktet är längsgående, som kan användas som bjälklag. Till väggelement används vanligtvis skivor med tre eller fem skikt.

Respondent 2 har ännu inga officiella dimensioner på sitt KL-trä, men gemensamt för de andra två respondenterna är att man har dimensioner i jämna tjocklekar. Detta förklaras bland annat av Respondent 1 genom att man som tillverkare till stor del vill ha lika dimensioner som de andra tillverkarna på marknaden. Tanken är att det inte ska spela någon roll vilken tillverkare som kan väljas utifrån vilken dimension en KL-träskiva har i projekteringen. Även Respondent 3 skriver att deras produktutbud bygger på vanligt förekommande produkter som scoutats mot dagens marknad.

Både Respondent 2 och 3 har gjort valet att enbart använda sig av virke i hållfasthetsklassen C24 i sina KL-träprodukter. Respondent 2 menar att utfallet av C16 i deras såg utgör en så pass liten volym att det inte blir gynnsamt för deras produktion, utan att det snarare skulle komplicera den. Respondent 1 använder däremot virke med olika hållfasthetsklasser i sina KL-träprodukter. De aktuella klasserna är C24 och C14. Respondent 1 menar att det enklaste hade varit att ha homogena KL-träskivor uppbyggda av skikt med C24. Ur produktionsteknisk synpunkt, är det hela dock mer komplext och handlar till stor del om att man inte vill ha för stora volymer av olika råvaror lagerhållna. Principen är att man hellre använder virke av kvalitet C14 till de tvärgående skikten i

KL-träelementen, än att ha stora volymer lagerhållna. Respondent 1 talar också kring den ursprungliga idén med KL-trä – att använda lameller av hög kvalitet i de yttre skikten och lameller av lägre kvalitet i de inre skikten. Vidare menar Respondent 1 att trots att KL-trä är en konstruktionsprodukt, så blir produkten konstruktionsmässigt sett marginellt sämre av att lägga lägre materialkvaliteter i de tvärsgående skikten.

Ett konkret problem som tas upp gällande frågan om eventuell problematik kring KL-trä som konstruktionsmaterial är materialets lätthet. En respondent ser detta särskilt som ett problem då man bygger trähus med flera våningar och kommer upp på högre höjder. I övrigt ser de tre företagen inga direkta problem, förutom att KL-trä – likt alla material – har sina begränsningar.

Respondent 2 och 3 kommer till en början enbart att tillverka och sälja rena KL-träskivor, dvs. skivor som inte är kompletterade med isolering, fasadbeklädnad eller dylikt, utan enbart är en skiva med eller utan håltagning. Respondent 2 kommer dessutom, med hjälp av en utomstående part, tillverka och sälja ribbjäklag – som är ett kompositbjäklag bestående av KL-trä och limträ. Respondent 3 menar att prefabricering, i form av KL-träskivor kompletterade med fönster, isolering och ytterpanel, kommer att bli aktuellt i framtiden på grund av marknadens behov av en så liten störning som möjligt på byggarbetsplatsen och med snabba montage.

Respondent 1 säljer mestadels rena KL-träskivor som projekteras och kund Anpassas innan de produceras. Trots montagefördelarna hos KL-träelement med högre prefabriceringsgrad, menar Respondent 1 att det ibland underlättar mer för byggtreprenörerna att leverera rena KL-träelement på grund av entreprenörernas budgetindelning. Entreprenörernas budgetar är indelade i kostnadsposter som blir svåra att följa upp när entreprenören betalar för en byggnadsdel innehållandes trä, fönster/dörrar, isolering och fasadbeklädnad etcetera.

#### 4.4. Marknaden

Den svenska marknaden för träbyggande ser positiv ut, och i och med att klimatfrågan de senaste åren fått ordentligt med fäste har intresset för träbyggande ökat. Idag byggs cirka 10% av flerbostadshusen i trä, men prognoser säger att det år 2025 inte är omöjligt att hälften av flerbostadshusen som produceras i Sverige skulle vara byggda i trä. [21] Samtliga intervjuade håller med om att klimatmedvetenheten som blivit allt starkare de senaste åren får fler och fler att istället välja träbyggande, tack vare träets kolsänka.

#### 4.4.1. Respondent 1

Respondent 1 har länge varit ensam på den svenska marknaden med tillverkning av KL-trä, något de säger mestadels varit negativt. De menar att det har krävts mycket resurser och arbete att ensamma stå för utveckling, utbildning och att gå i bränschen för ett förhållandevis nytt material på marknaden, samtidigt som volymerna de levererat varit förhållandevis små. De levererade till en början 50% av sina volymer KL-trä till Norge, men allt eftersom efterfrågan ökade i Sverige minskade denna export mer och mer. Idag levererar de enbart till svenska kunder när det gäller KL-trä, och har gjort detta sedan cirka fyra år tillbaka i tiden. De kunde tidigare ensam förse efterfrågan i Sverige, något som dock blivit svårare i och med att intresset för materialet ökat under de senaste åren. Respondenten ser därför positivt på att det nu tillkommer flera producenter, som kan hjälpa till att dra i utvecklingen och öka medvetenheten för svenskt KL-trä på den svenska marknaden. Respondenten tror inte att alla användningsområden är upptäckta för KL-trä ännu, men han tror starkt på att kombinationen limträ/KL-trä kommer att växa framöver. Exempelvis kan industrilokaler där stålstommar bytts mot limträstommar fortsätta utvecklas där ett profilerat plåttak och bjälklag kan bytas mot element av KL-trä istället, för att på så vis få en mer miljövänlig byggnad helt byggd i trä. Respondenten tror vidare att denna kombination av att både ha limträ- och KL-trätillverkning får dem att stå ut i den nyttillkomna konkurrensen på marknaden, tillsammans med projekteringsstyrkan och erfarenheten de 45 ingenjörerna hos respondenten besitter.

#### 4.4.2. Respondent 2

Anledningen att Respondent 2 nu börjar med KL-trä säger de beror mycket på det ökade intresset på marknaden. Respondenten nämner även andra anledningar som att hitta produkter som är mindre konjunktur känsliga, att hitta sätt att öka vidareförädlingen hos sitt virke och för att kunna göra en förflyttning från marknader som tidvis är mer känsliga. Det har således blivit ett sammanslaget marknads- och strategibeslut att börja med just KL-trä. Då respondenten är ett globalt bolag får de in förfrågningar från runt om i världen, men säger att de kommer att börja fokusera på den svenska marknaden när det kommer till KL-trä. Ju längre ifrån Europa man kommer ju mindre omtalat blir KL-trä säger respondenten, men påpekar även att då det uppkommer fler och fler KL-träfabriker världen runt kommer materialet att sprida sig på en global nivå likväl. För att särskilja sig säger respondenten att de kommer att arbeta för att få en så bra serviceorganisation som möjligt genom att integrera projektörer, interna som externa, i sitt team.

Syftet är att på ett så effektivt sätt som möjligt kunna understödja byggentreprenören under produktionen. På så sätt ser sig respondenten som mer än bara en leverantör, utan som någon som kan bidra med stöd under hela projektfasen. De ser även fördelar med att de kan tillverka element som är upp till 20 meter långa. Dels för sin egen produktivitet, dels tack vare det faktum att större delar kräver ett färre antal element, vilket i sin tur gör att det inte behövs lika många lyft av elementen, speciellt vid större projekt.

#### 4.4.3. Respondent 3

Även Respondent 3 säger att framtiden för trä ser ljus ut, att trä som material generellt kommer att ta marknadsandelar och att just kombinationen KL-trä/limträ kommer att bli allt mer dominerande. De säger att möjligheterna med KL-trä är många, och tillsammans med prefabricering, montage och installationer kommer KL-trä i framtiden att bli väldigt konkurrenskraftigt. Med den snabba utvecklingen och expansionen av KL-trä i Sverige kommer marknaden växa, och KL-trä kommer på sikt att bli en global produkt. För att stå ut bland konkurrenterna i Sverige kommer respondenten att leverera mer än bara produkten, utan hela lösningar med projektering, dimensionering och montage.

## 5. Optimering av tvärsnittsuppbyggnad

Kapitel 5.2 bygger dels på ”Byggkonstruktion – Regel-, och formelsamling” [22], dels på ”KL-trähandbok” [4]. Nämd handbok refererar till europeiska konstruktionsstandarder och Eurokoder. Till Eurokoderna har vissa nationella val gjorts, som finns angivna i ”Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder”, EKS 10 [23].

### 5.1. Förutsättningar för optimeringen

- Optimeringen tar hänsyn till byggnadsdelarna mellanbjälklag av typen plattbjälklag, yttervägg och innervägg och de lastfall som dessa utsätts för. De belastningssituationer som är aktuella är tryckkraft, böjmoment, tvärkraft, böjknäckning och panelskjuvning. Skiktsskjuvning tas inte till hänsyn vid optimeringen.
- Vid beräkning av tryckkapaciteter i väggar antas det vara ett homogent element utan urtag.
- Samtliga byggnadsdelar som omfattas av optimeringen hänförs till säkerhetsklass 3 [23] och klimatklass 1. [24]
- Gällande svikt och vibrationer så tas hänsyn till lägsta egenfrekvens och styvhetskravet/punktlastkravet. Optimeringen beaktar inte impulshastighetsrespons.
- Nedböjningskrav kontrolleras för ett ej överhöjt bjälklag som utsätts för en utbredd last och sätts till  $L/300$  [25]. Vid deformationsberäkningar används Timoshenko-teori.
- Gammametoden används vid beräkning av tryckkraftskapacitet och utförs endast för 3-, och 5-skiktsskivor och inte för 7-skiktsskivor på grund av alltför avancerad teori i kombination med tidsbegränsningar för arbetet.
- Optimeringen avgränsar sig till att endast omfatta symmetriska KL-träskivor där skikten i y-riktningen  $t_2 = t_4 = \dots$  är lika, och skikten i x-riktningen  $t_1 = t_3 = \dots$  är lika.
- Den maximala skillnaden mellan skikt  $t_i$  och  $t_j$  är satt till 20 mm.
- De hållfasthetsklasser som omfattas av optimeringen är C24 och C14.
- Systemeffekten,  $k_{sys}$ , tas inte hänsyn till vid optimering.
- Beräkningar gällande akustikkraV och brandkraV tas inte hänsyn till vid optimering.
- Variabla laster som antas verka på bjälklaget är nyttig last för bjälklag i bostäder. Optimeringen beaktar ej några övriga nyttiga laster.
- Vid de belastningssituationer där beräkningar görs för ett bjälklag, antas bjälklaget alltid vara enkelspant.

## 5.2. Teori

### 5.2.1. Definition av laster, dimensioneringsgång och partialkoefficienter

Partialkoefficienten  $\gamma_d$  tar hänsyn till hur stor konsekvensen blir om brott föreligger, sett till personskador. För säkerhetsklass 3 är  $\gamma_d = 1,0$ .

Partialkoefficienten  $\gamma_m$  tar hänsyn till osäkerheter i hållfasthetsvärden. För KL-trä är  $\gamma_m = 1,25$  [4]

Modifikationsfaktorn  $k_{mod}$  är en omräkningsfaktor som tar hänsyn till inverkan av fukt och lasters varaktighet, se Tabell 1 nedan. Faktorn bestäms av den kortvarigaste av de aktuella lasterna samt aktuell klimatklass. Exempel på laster för respektive varaktighetsklass listas nedan i Tabell 2.

Tabell 1 Modifikationsfaktor för beräkning av dimensionerande bärförmåga beroende på klimatklass och varaktighetsklass [4]

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

Tabell 2 Varaktighetsklasser för olika typer av laster.

Varaktighet	Lastexempel
Permanent	Egentyngd
Lång	Nyttig last i lagerlokal.
Medel	Nyttig last i byggnader exkl. lagerlokal. Snölast.
Kort	Vindlast
Momentan	Vindstötar, olyckslast, enstaka koncentrerad last på yttertak.

Det grundläggande sambandet vid dimensionering är:

$$E_d < R_d$$



Sambandet innebär att lasteffekten måste vara mindre än bärförmågan för separata byggnadsdelar och en stomme i sin helhet. Nedan beskrivs hur man bestämmer bärförmågan för ett material samt hur man bestämmer en lastkombination.

Dimensionerande hållfasthetsvärden för beräkning av bärförmåga utförs med hjälp av formeln nedan. Hållfasthetsvärdena varierar mellan olika hållfasthetsklasser och beroende på i vilken riktning materialet belastas i förhållande till fiberriktningen.

$$f_d = \frac{k_{mod} \cdot f_k}{\gamma_M} \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (1)$$

$f_k$  = karakteristiskt hållfasthetsvärde

$f_d$  = dimensionerande hållfasthetsvärde

För fullständig dimensionering krävs kontroll av flera olika lastfall. Det vanligaste dimensionerande lastfallet i brottgränstillståndet beräknas enligt följande ekvation. Med brottgränstillstånd avses det tillstånd som motsvarar att brott uppstår i en byggnadsdel.

$$q_d = \gamma_d \cdot 1,2 \cdot G_k + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot Q_{k,1} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \text{ [N/m]} \quad (2)$$

$G_k$  = karakteristisk egentyngd

$Q_{k,1}$  = karakteristiskt värde på huvudlasten (variabel last)

$Q_{k,i}$  = karakteristiskt värde på övriga variabla laster

$\psi_{0,i}$  = faktor för kombinationsvärde för variabel last

$\gamma_d = 1$  på grund av säkerhetsklass 3.

På samma sätt som vid dimensionering i brottgränstillståndet, finns vid dimensionering i bruksgränstillståndet flera olika lastfall definierade. Ett vanligen förekommande lastfall kan beräknas enligt följande formel. Formeln gäller för kvasi-permanent lastkombination. Med bruksgränstillstånd avses det tillstånd som motsvarar oacceptabel funktion vid normal användning.

$$q_d = 1,0 \cdot G_k + \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \text{ [N/m]} \quad (3)$$

$G_k$  = karakteristisk egentyngd

$Q_{k,i}$  = karakteristiskt värde på variabla laster

$\psi_{2,i}$  = faktor för kvasi-permanent värde för variabel last

Både egentyngder och variabla laster påverkar elementen i optimeringen. Egentyngden för respektive element beräknas genom att densiteten för KL-trä multipliceras med elementets volym, därutöver adderas en konstant egentyngd på  $1 \text{ kN/m}^2$  som ska ta hänsyn till övriga tyngder i ett bjälklag såsom övergolv, installationer etcetera. De aktuella variabla lasterna och respektive lastkombinationsfaktorer  $\psi$  listas nedan i Tabell 3. Index 0 används vid karakteristiska lastkombinationer, index 1 vid frekvent värde och index 2 vid kvasi-permanent värde.

Tabell 3 Lastkombinationsfaktorer för olika variabla laster.

Lasttyp	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Nyttig last för bjälklag i bostäder, $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$	0,7	0,5	0,3
Vindlast	0,3	0,2	0,1
Snölast ( $2,0 \leq s_k < 3 \text{ kN/m}^2$ )	0,7	0,4	0,2

### Beräkning av variabla laster

Snölasten beräknas genom formeln nedan och bestäms som tyngden per horisontell area.

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad (4)$$

$\mu_i$  = formfaktor som beror av takytans form och av risk för snöanhopning till följd av vind, ras och glidning.

$C_e$  = exponeringsfaktor som beror på topografin vid aktuell plats

$C_t$  = termisk koefficient som beror av energiförluster genom taket. Sätts normalt till 1,0.

$s_k$  = snölastens grundvärde på mark

Vindlasten, som uppkommer vinkelrätt mot ytterväggar och på tak, beräknas genom formeln nedan.

$$w = q_k \cdot (c_{pe,10} + c_{pi}) \left[ \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right] \quad (5)$$

$q_k$  = karakteristiskt vindhastighetstryck

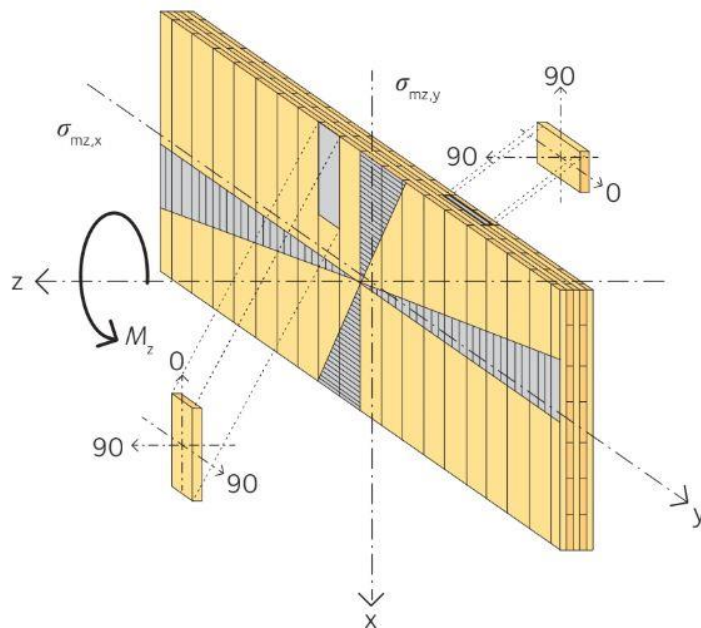
$c_{pe,10}$  = global formfaktor för utvändig vindlast

$c_{pi}$  = formfaktor för invändig vindlast

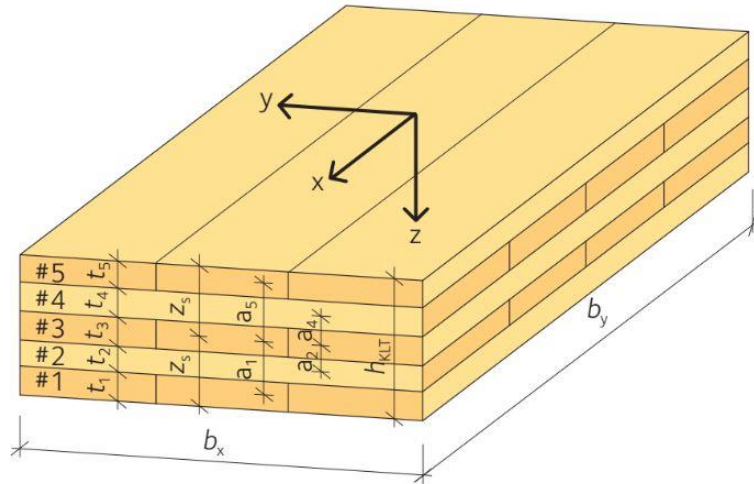
### 5.2.2. Definition av riktningar och beteckningar

Enligt standarden SS-EN 16351 [26] definieras riktningarna i KL-trä enligt punkterna nedan. Figur 12 och Figur 13 förtydligar riktningar och numreringar som presenteras i detta avsnitt.

- KL-träet har tre huvudbärriktningar där materialet kan ta upp och fördela laster; x-riktning, y-riktning och z-riktning.
- x-axeln är parallell med det yttersta skiktets fiberriktning
- y-axeln är vinkelrät mot det yttersta skiktets fiberriktning
- z-axeln är vinkelrät mot xy-planet och löper i skivans tjockleksriktning
- 0 betecknar lokal axel för brädor eller skikt, parallella med fiberriktningen
- 90 betecknar lokal axel för brädor eller skikt, vinkelräta mot fiberriktningen
- 090 betecknar lokala planet med riktningen 0 och 90
- 9090 betecknar lokala planet med riktningen 90 och 90



Figur 12 Huvudaxlar och lokala axlar för en KL-träskiva [4]



Figur 13 Numrering av skikt och benämning av olika mått i ett KL-trätvärsnitt [4]

$t_i$  = tjocklek på skikt  $i$

$b_x, b_y$  = brädsnittets bredd i x- respektive y-riktning

$a_i$  = avståndet mellan mitten på skikt  $i$  och KL-träskivans neutrala lager

KL-träskivans tjocklek,  $h_{KLT}$ , kan skrivas som den totala tjockleken av skivans skikt i både längdriktningen och tvärsriktningen.

$$h_{KLT} = h_x + h_y \text{ [m]}$$

$$h_x = t_1 + t_3 + t_5 + \dots$$

$$h_y = t_2 + t_4 + \dots$$

$A_{x,net}$  beskriver KL-träskivans verksamma area – nettoarea – parallellt med huvudbärriktningen i x-riktning, och beräknas enligt nedanstående formel.

$$A_{x,net} = b_x \cdot h_x \text{ [m}^2\text{]} \quad (6)$$

På samma sätt beräknas KL-träskivans nettoarea i y-riktningen, se formel nedan.

$$A_{y,net} = b_y \cdot h_y \text{ [m}^2\text{]} \quad (7)$$

Elasticitetsmodulen,  $E$ , anses vara försumbar vinkelrätt mot fiberriktningen ( $E_{90}$ ), och kan därmed sättas till 0. E-modulen för varje skikt betecknas enligt följande (förutsatt att virkeskvaliteten är lika för alla skikt i x-riktningen respektive i y-riktningen):

- $E_0$  är E-modulen för ett skikt parallellt med fiberriktningen
- $E_{0,mean}$  är E-modulens medelvärde.
- $E_{x,i}$  är E-modulen i x-led för skiktet  $i$ .
- $E_{y,j}$  är E-modulen i y-led för skiktet  $j$ .

$$\begin{aligned}
 E_{x,1} = E_{x,3} = E_{x,5} = \dots &= E_{0,x,mean} = E_0 \\
 E_{y,2} = E_{y,4} = \dots &= E_{0,y,mean} = E_0 \\
 E_{x,2} = E_{x,4} = \dots &= E_{90,y,mean} = 0 \\
 E_{y,1} = E_{y,3} = E_{y,5} = \dots &= E_{90,x,mean} = 0
 \end{aligned}$$

Skjuvmodulen,  $G$ , betecknas för varje skikt enligt följande:

- $G_{x,i}$  är skjuvmodulen i x-led för skiktet  $i$ .
- $G_{y,j}$  är skjuvmodulen i y-led för skiktet  $j$ .

$$\begin{aligned}
 G_{x,1} = G_{x,3} = G_{x,5} = \dots &= G_{090,x,mean} = G_0 \\
 G_{y,2} = G_{y,4} = \dots &= G_{090,y,mean} = G_0 \\
 G_{x,2} = G_{x,4} = \dots &= G_{9090,y,mean} = G_{90} \\
 G_{y,1} = G_{y,3} = G_{y,5} = \dots &= G_{9090,x,mean} = G_{90}
 \end{aligned}$$

Skiktet  $i$  är parallell med x-axeln där skikt nummer 1 är det första skiktet i x-riktning nerifrån sett.

Skiktet  $j$  är parallell med y-axeln där skikt nummer 2 är det första skiktet i y-riktning nerifrån sett.

### 5.2.3. Momentkapacitet

För ett fritt upplagt bjälklag med längden  $L$  och en utbredd last  $q_d$ , beräknas det dimensionerande momentet i fältmitt för en bjälklagsstrimla enligt formel nedan.

$$M_{Ed} = \frac{q_d \cdot L^2}{8} \text{ [Nm]} \tag{8}$$

Momentkapaciteten beräknas enligt formel nedan

$$M_{R,y,d} = W_{x,net} \cdot f_{m,x,d} = W_{x,net} \cdot \frac{f_{m,x,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \text{ [Nm]} \quad (9)$$

$$W_{x,net} = \frac{2 \cdot I_{x,net}}{h_{KLT}} \text{ [m}^3\text{]} \quad (10)$$

$$I_{x,net} = \sum \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot \frac{b_x \cdot t_i^3}{12} + \sum \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot b_x \cdot t_i \cdot a_i^2 = \frac{b_x \cdot t_1^3}{12} + b_x \cdot t_1 \cdot a_1^2 + \frac{b_x \cdot t_3^3}{12} + b_x \cdot t_3 \cdot a_3^2 + \frac{b_x \cdot t_5^3}{12} + b_x \cdot t_5 \cdot a_5^2 + \dots \text{ [m}^4\text{]} \quad (11)$$

$q_d$  = dimensionerande last för vertikal last i brottgränstillståndet [N/m], enligt (2)

$W_{x,net}$  = nettoböjmotståndet parallellt med huvudbärriktningen

$I_{x,net}$  = nettotröghetsmomentet parallellt med huvudbärriktningen

$f_{m,y,d}$  = dimensionerande böjhållfasthet, enligt (1)

$E_{x,i}$  = brädsiktets elasticitetsmodul

$E_{ref}$  = valt referensvärde för elasticitetsmodul

#### 5.2.4. Tvärkraftskapacitet med hänsyn till längsskjuvning och rullskjuvning

Den dimensionerande tvärkraften för en fritt upplagd bjälklagsstrimla med längden  $L$  och en utbredd last  $q_d$ , beräknas enligt formel nedan.

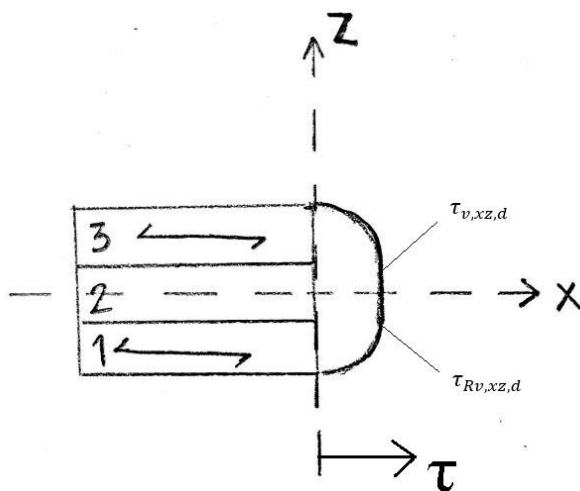
$$V_{Ed} = 0,5 \cdot q_d \cdot L \text{ [N]} \quad (12)$$

$q_d$  = dimensionerande last för vertikal last i brottgränstillståndet [N/m], enligt (2)

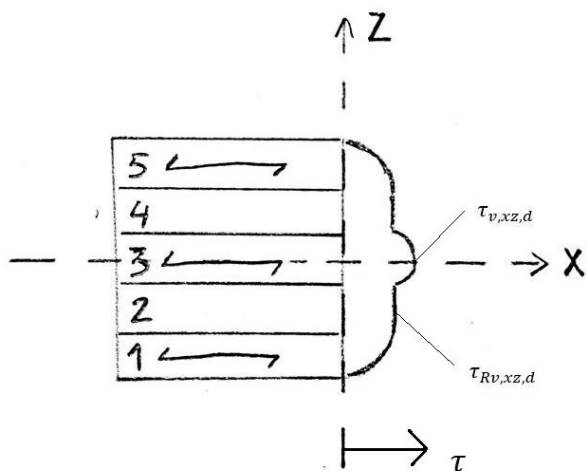
Vid beräkning av tvärkraftskapaciteterna med hänsyn till längsskjuvning och rullskjuvning används (13) respektive (16). När kapaciteterna beräknas tas hänsyn till respektive skiktets hållfasthetsegenskaper, vilka kan variera med olika skikt beroende på vilken materialkvalitet det är uppbyggt av. Detta görs för att ta reda på vilken tvärkraftskapacitet som är lägst och som måste dimensioneras för.

För 3-skiktsskivor är skjuvspänningsfördelningen konstant över det tvärgående mittersta skiktet, vilket kan utläsas i Figur 14 nedan. Skjuvspänningen ökar på grund av längsskjuvningen som uppstår i skikt 1 och 3, för att sedan vara konstant över skikt 2.

För 5-skiktsskivor uppkommer den maximala skjuvspänningen i mitten av tvärsnittet, på grund av längsskjuvningen som uppstår i det längsgående skiktet i mitten, skikt 3. Se Figur 15 nedan. I de tvärgående skikten, skikt 2 och skikt 4, är skjuvspänningen konstant på samma sätt som för tvärsnittet i 3-skiktsskivan.



Figur 14 Skjuvspänningsfördelning för en 3-skiktsskiva där skikt 1 och skikt 3 är längsgående skikt.



Figur 15 Skjuvspänningsfördelning för en 5-skiktsskiva där skikt 1, 3 och 5 är längsgående skikt.

Tvärkraftskapaciteten per breddmeter med hänsyn till längsskjuvning beräknas enligt följande formel.

$$V_{v,Rd} = f_{v,d} \cdot \frac{I_{x,net} \cdot b_x}{S_{x,net}} = \frac{f_{v,090,y,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \cdot \frac{I_{x,net} \cdot b_x}{S_{x,net}} \quad [N] \quad (13)$$

$q_d$  = dimensionerande last för vertikal last i brottgränstillståndet [N/m], enligt (2)

$S_{x,net}$  = statiskt moment för längsskjuvning

$I_{x,net}$  enligt (11)

$f_{v,d}$  = dimensionerande skjuvhållfasthet, enligt (1)

Framtagning av det statiska momentet behövs då man ska beräkna tvärkraftskapaciteten med hänsyn till längsskjuvning respektive rullskjuvning. Vid beräkning av statiskt moment för längsskjuvning, tittar man endast på de längsgående skikten i x-riktning. Det skikt som betraktas är det skikt som ligger i, eller skiktet närmast tyngdpunkten. Vid de fall då skivans tyngdpunkt ligger i det skikt som betraktas används (14). Detta inträffar när man har en skiva med ett längsgående skikt i det mittersta skiktet, vilket gäller för 5-skiktsskivor (med längsgående skikt ytterst).

$$S_{x,net} = \sum_{i=1}^{k_L} \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot b_x \cdot t_i \cdot a_i + b_x \cdot \frac{(t_k - a_k)^2}{2} \quad [m^3] \quad (14)$$

Vid beräkning av det statiska momentet för längsskjuvning används (15) när skivans tyngdpunkt *inte* ligger i det skikt som betraktas. Detta inträffar då det mittersta skiktet är tvärgående, vilket bland annat gäller 3-skiktsskivor och 7-skiktsskivor (med längsgående skikt i x-riktning ytterst).

$$S_{x,net} = \sum_{i=1}^{k_L} \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot b_x \cdot t_i \cdot a_i \quad [m^3] \quad (15)$$

$E_{x,i}$  = brädsiktets elasticitetsmodul

$E_{ref}$  = valt referensvärde för elasticitetsmodul

$t_k$  = betraktat skikts tjocklek

$a_k$  = avståndet mellan neutrallagret till betraktat skikts tyngdpunkt

$k_L$  = beteckningen för det längsgående skiktet närmast skivans tyngdpunkt



Tvärkraftskapaciteten per breddmeter med hänsyn till rullskjuvning beräknas enligt följande formel.

$$V_{Rv,Rd} = f_{Rv,d} \cdot \frac{I_{x,net} \cdot b_x}{S_{Rx,net}} = \frac{f_{v,9090,x,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \cdot \frac{I_{x,net} \cdot b_x}{S_{Rx,net}} \quad [\text{N}] \quad (16)$$

$$S_{Rx,net} = \sum_{i=1}^{m_L} \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot b_x \cdot t_i \cdot a_i \quad [\text{m}^3] \quad (17)$$

$I_{x,net}$  enligt (11)

$S_{Rx,net}$  = statiskt moment för rullskjuvning

$E_{x,i}$  = brädsnittets elasticitetsmodul

$E_{ref}$  = valt referensvärde för elasticitetsmodul

$m_L$  = beteckningen för det tvärgående skiktet närmast skivans tyngdpunkt

$f_{v,d}$  = dimensionerande skjuvhållfasthet, enligt (1)

### 5.2.5. Tryckkraftskapacitet

Vid beräkning av tryckkraftskapacitet används Gammametoden för framtagning av reduktionsfaktorn  $k_{c,y}$ . Tryckkraft parallellt med fiberriktningen för en strimla med bredden  $b_x = 1,0 \text{ m}$  kontrolleras i brottgränstillståndet enligt formeln nedan.

$$N_{c,Rd} = f_{c,0,d} \cdot A_{x,net} \cdot k_{c,y} \quad [\text{N}] \quad (18)$$

$f_{c,0,d}$  = dimensionerande tryckhållfasthet parallellt fiberriktningen, enligt (1)

$A_{x,net}$  enligt (6)

$k_{c,y}$  = hållfasthetsrelaterad reduktionsfaktor

Beräkningsgången för  $k_{c,y}$  ges av (19) – (23).

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (19)$$

$$k_y = 0,5 \cdot \left( 1 + \left( 0,1 \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) \right) \quad (20)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (21)$$

$$\lambda_y = \frac{l_e}{i_{x,ef}} \quad (22)$$

$l_e = L \cdot \beta = L$  på grund av att skivan är fritt upplagd ( $\beta = 1$ )

$$i_{x,ef} = \sqrt{\frac{I_{x,ef}}{A_{x,net}}} \quad (23)$$

$A_{x,net}$  enligt (6)

$l_e$  = effektiv knäcklängd

$E_{0,05}$  = Elasticitetsmodul, 5-procentsfraktil

$I_{x,ef}$  är det effektiva tröghetsmomentet och beräknas med hjälp av Gammametoden. Formeln för  $I_{x,ef}$  redovisas nedan.

$$I_{x,ef} = \sum \left( \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot \frac{b_x \cdot t_i^3}{12} + \gamma_i \cdot \frac{E_{x,i}}{E_{ref}} \cdot b_x \cdot t_i \cdot a_i^2 \right) = \frac{b_x \cdot t_1^3}{12} + \gamma_1 \cdot b_x \cdot t_1 \cdot a_1^2 + \frac{b_x \cdot t_3^3}{12} + \gamma_3 \cdot b_x \cdot t_3 \cdot a_3^2 + \frac{b_x \cdot t_5^3}{12} + \gamma_5 \cdot b_x \cdot t_5 \cdot a_5^2 \quad [m^4] \quad (24)$$

$E_{x,i}$  = brädsnittets elasticitetsmodul

$E_{ref}$  = valt referensvärde för elasticitetsmodul

### Gammametoden för 3-skiktsskivor

För 3-skiktsskivor med symmetriskt tvärsnitt och brädor av samma hållfasthetsklass beräknas och används värden för  $\gamma$  och  $a$  enligt följande formler

$$\gamma_1 = 1 \quad (25)$$

$$\gamma_3 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{x,3} \cdot t_3}{l_{ref}^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090,2}}} \quad (26)$$

$l_{ref} = L$  på grund av att skivan ses som en fritt upplagd balk med enkel spännvidd.

$$a_1 = \frac{t_1}{2} + \frac{t_2}{2} \quad (27)$$

$$a_3 = \frac{t_2}{2} + \frac{t_3}{2} \quad (28)$$

Eftersom tvärsnittet är symmetriskt blir  $a_1 = a_3$

### Gammametoden för 5-skiktsskivor

För 5-skiktsskivor med symmetriskt tvärsnitt och brädor av samma hållfasthetsklass beräknas och används värden för  $\gamma$  och  $a$  enligt följande formler

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{x,1} \cdot t_1}{l_{ref}^2} \cdot \frac{t_2}{G_{9090,2}}} \quad (29)$$

$$\gamma_3 = 1 \quad (30)$$

$$\gamma_5 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_{x,5} \cdot t_5}{l_{ref}^2} \cdot \frac{t_4}{G_{9090,4}}} \quad (31)$$

Eftersom tvärsnittet är symmetriskt ( $t_1 = t_5$ ) och av samma hållfasthetsklass sätts  $\gamma_1 = \gamma_5$

$$a_3 = 0 \text{ på grund av symmetriskt tvärsnitt.} \quad (32)$$

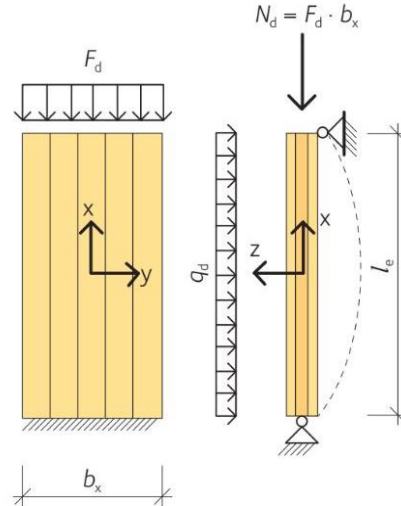
$$a_1 = \frac{t_1}{2} + t_2 + \frac{t_3}{2} \quad (33)$$

$$a_5 = \frac{t_3}{2} + t_4 + \frac{t_5}{2} \quad (34)$$

Eftersom tvärsnittet är symmetriskt blir  $a_1 = a_5$

### 5.2.6. Kontroll av böjknäckning

En vägg eller pelare som utsätts för en samtidig normalkraft och transversallast behövs kontrolleras mot böjknäckning. Detta fenomen är aktuellt för ytterväggar, som påverkas av horisontella vindlaster och axiella tryckkrafter, se Figur 16 nedan.



Figur 16 Väggskena påverkad av horisontella och vertikala laster [4]

Följande samband ska uppfyllas vid samtidigt böjmoment och tryckkraft för att undgå att böjknäckning inträffar.

$$\frac{N_d}{k_{c,y} \cdot A_{x,net} \cdot f_{c,0,x,d}} + \frac{M_{y,d}}{W_{x,net} \cdot f_{m,x,d}} \leq 1 \quad (35)$$

$N_d$  = dimensionerande normalkraft av lasteffekt

$A_{x,net}$  enligt (6)

$k_{c,y}$  = reduktionsfaktor, beräkningsgång enligt (19) – (23)

$M_{y,d}$  enligt (8)

$W_{x,net}$  enligt (10)

$f_{x,d}$  = dimensionerande tryck-, respektive böjhållfasthet, enligt (1)

För att till optimeringen kunna beräkna den tryckkraft en yttervägg kan utsättas för och samtidigt klara kraven för böjknäckning, används sambandet i (35) i förenklad form.

$$\frac{N_d}{N_{c,Rd}} + \frac{M_d}{M_{Rd}} \leq 1 \quad (36)$$

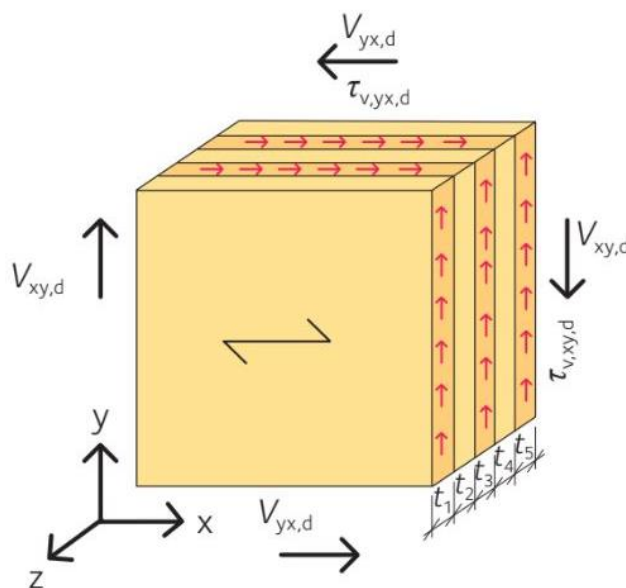
$$M_d = k \cdot N_d \quad (37)$$

Antag att sambandet (37) gäller och att det böjmoment,  $M_d$ , som uppstår i väggen är direkt proportionellt mot den axiella normalkraften  $N_d$  som uppkommer av de laster som väggskivan utsätts för. Den maximala normalkraften  $N_{max}$  kan då lösas ut ur sambandet då det sätts till 1,0. För  $k$  antas ett rimligt värde vara 0,03. Värdet grundar sig i att kvoten mellan  $N_d$  och  $M_d$  för två skilda belastningssituationer med lika lastfall överslagsmässigt varit cirka 3%. Aktuella situationer som antagandet grundar sig på är ett tvåvåningshus med sadeltak i Stockholm och ett envåningshus i Skåne. Om man löser ut  $N_{max}$  fås då:

$$N_{max} = N_d = \frac{N_{c,Rd} \cdot M_{Rd}}{M_{Rd} + k \cdot N_{c,Rd}} \text{ [N]} \quad (38)$$

#### 5.2.7. Tvärkraftskapacitet med hänsyn till panelskjuvning

Stomstabiliserande väggar behöver kontrolleras mot tvärkrafter som uppstår i väggens plan, så kallad panelskjuvning. Figur 17 nedan beskriver hur tvärkrafterna fördelas i en KL-träskiva. Första index anger normalriktningen för planet, andra index anger skjuvspänningens riktning. Aktuella plan att kontrollera panelskjuvning i är xy-planet och yx-planet. [27]



Figur 17 Skjuvspänningar i en KL-träskiva [4]

Tvärkraftskapaciteten med hänsyn till panelskjuvning ges av formlerna nedan

$$V_{xy,Rd} = f_{R,v,xy,d} \cdot A_{x,net} = \frac{f_{v,090,x,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \cdot A_{x,net} \text{ [N]} \quad (39)$$

$$V_{yx,Rd} = f_{R,v,yx,d} \cdot A_{x,net} = \frac{f_{v,090,y,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} \cdot A_{y,net} \text{ [N]} \quad (40)$$

$A_{x,net}$  enligt (6)

$A_{y,net}$  enligt (7)

$f_{R,xy,d}$  = dimensionerande skjuvhållfasthet, enligt (1)

### 5.2.8. Dimensionering i bruksgränstillståndet

Vid dimensionering i bruksgränstillståndet kontrolleras deformationer, svikt och vibrationer. För beräkning av deformationer finns flera teorier att använda sig av. Gammametoden är den vanligaste metoden och finns även beskriven i Eurokod 5. Andra teorier är Timoshenko-teori, kompositmetoden och Kreuzingers teori. Deformationsberäkningarna för 3-, 5-, och 7-skiktselement beräknas enligt Timoshenko-teori då den anses bäst lämpad för optimeringen. I beräkningarna antas KL-träelementen vara fritt upplagda och enkelspända.

#### Timoshenkos metod för 3-, 5- och 7-skiktsskivor

Initialnedböjningen i fältmitt för en fritt upplagd bjälklagsstrimla med längden  $L$ , bredden  $b_x = 1,0 \text{ m}$  och en utbredd last  $q$  beräknas genom följande formel.

$$w_{inst,q} = \frac{5 \cdot q_d \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{x,net}} + \frac{q_d \cdot L^2}{8 \cdot GA_s} \text{ [m]} \quad (41)$$

$q_d$  = dimensionerande last i bruksgränstillståndet, enligt (3)

$I_{x,net}$  enligt (11).

$GA_s$  = skjuvstyvheten [N]

$GA_s$  beräknas enligt följande formel

$$GA_s = S_{x,KLT} = \kappa_x \cdot \sum G_{x,i} \cdot b_x \cdot t_i = \kappa_x \cdot b_x \cdot (G_0 t_1 + G_{90} t_2 + G_0 t_3 + \dots) \text{ [N]} \quad (42)$$

$\kappa_x$  = skjuvkorrektionsfaktorn i x-riktning beräknas enligt följande formel.

$$\kappa_x = \frac{(\sum(EI+EAa^2))^2}{\sum G_i \cdot b \cdot t_i \cdot \int_h \frac{S^2(z) \cdot E^2(z)}{G(z) \cdot b(z)} dz} \quad (43)$$

Krypdeformationen, som uppkommer vid långtidslast, uppskattas baserat på initialnedböjningen och en deformationsfaktor,  $k_{def}$ . Deformationsfaktorn är beroende av klimatklass och antal brädsnitt och bestäms utifrån materialets fuktkvot och dess variation.  $k_{def}$  kan antas som 0,85. [4] För variabla laster multipliceras initialnedböjningen både med deformationsfaktorn  $k_{def}$  samt en lastkombinationsfaktor  $\Psi_2$ , som tar hänsyn till kvasi-permanent lastkombination. Kvasi-permanent lastkombination tar hänsyn till långtidseffekter, där krypning ingår.

$$w_{creep,G} = k_{def} \cdot w_{inst,G} \text{ [m]} \quad (44)$$

$$w_{creep,Q} = \psi_{2,i} \cdot k_{def} \cdot w_{inst,Q} \text{ [m]} \quad (45)$$

Den totala deformationen i materialet bestäms som summan av initialnedböjningen och krypdeformationen.

$$w_{fin} = w_{inst} + w_{creep} \text{ [m]} \quad (46)$$

Den slutgiltiga deformationen för permanenta laster  $G$  [N/m] och variabla laster  $Q$  [N/m] kan då beräknas enligt formel nedan.

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \text{ [m]} \quad (47)$$

$$w_{fin,Q} = w_{inst,Q} \cdot (1 + \psi_{2,i} \cdot k_{def}) \text{ [m]} \quad (48)$$

För att beräkna den maximala spännvidden  $L_{max,q}$  sätts den slutgiltiga deformationen,  $w_{fin}$  (som beror av utbredda permanenta och variabla laster) lika med nedböjningskravet  $L/300$ . Hela uttrycket sätts till 0 och varje koefficient för  $L_{max,q}$  i tredjegradsuttrycket löses ut.  $L_{max,q}$  löses sedan ut genom att rötterna i tredjegrads ekvationen beräknas.

$$\frac{L}{300} = q_{inst} \cdot L^2 \cdot \left( \frac{5 \cdot L^2}{384 \cdot E \cdot I_{x,net}} + \frac{1}{8 \cdot GA_s} \right) + q_{creep} \cdot L^2 \cdot \left( \frac{5 \cdot L^2}{384 \cdot E \cdot I_{x,net}} + \frac{1}{8 \cdot GA_s} \right) \quad (49)$$

$$\rightarrow 40 \cdot GA_s \cdot L^3 + 384 \cdot E \cdot I_{x,net} \cdot L - \frac{384 \cdot 8 \cdot E \cdot I_{x,net} \cdot GA_s}{300 \cdot (G_k \cdot (1 + k_{def}) + q_k \cdot (1 + k_{def} \cdot \psi_2))} = 0$$

Vid beräkning avseende svikt och vibrationer kan en KL-träskiva som utgör bjälklag förenklat dimensioneras genom att bjälklagets svängningsbenägenhet beräknas. Detta görs genom att man kontrollerar den statiska nedböjningen i form av ett styvhetskrav/punktlastkrav som förklaras nedan. Man kontrollerar även bjälklagets lägsta egenfrekvens.

Initialnedböjningen i fältmitt för en fritt upplagd bjälklagsstrimla med längden  $L$ , bredden  $b_x = 1,0 \text{ m}$  och en punktlast  $P$  beräknas genom följande formel.

$$w_{inst,P} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_{x,net}} + \frac{P \cdot L}{4 \cdot GA_s} \quad [\text{m}] \quad (50)$$

Bjälklagens maximala spännvidd  $L_{max,P}$  beräknas med hänsyn till punktlastkravet. Punktlastkravet kontrolleras för det fall då en punktlast  $P$  på 1 kN läggs på i mitten av plattans längdriktning. Boverket har för svenska förhållanden satt värdet på  $a$  till 1,5 mm för en punktlast på 1 kN. Som jämförelse kan nämnas att motsvarande myndighet i Finland sätter värdet på  $a$  till 0,5 mm/kN. [28]

$$w = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_{x,net}} + \frac{P \cdot L}{4 \cdot GA_s} \leq a \quad (51)$$

Nedböjningen  $w$  sätts lika med  $a = 1,5 \text{ mm}$  och den maximala spännvidden  $L_{max,P}$  löses ut genom att uttrycket sätts till 0 och rötterna till tredjegrads ekvationen beräknas.

$$\rightarrow \frac{P}{48 \cdot E \cdot I_{x,net}} \cdot L^3 + \frac{P}{4 \cdot GA_s} \cdot L - 0,0015 = 0$$



Den lägsta egenfrekvensen  $f_1$  för ett bjälklag som betraktas som en balk (och är enkelspönt) beräknas enligt formel nedan. Värdet på den lägsta vibrationen som accepteras är 8 Hz. [29]

$$f_1 = \frac{\pi}{2L^2} \cdot \sqrt{\frac{(EI)_L}{m}} \geq 8 \text{ Hz} \quad (52)$$

$m$  = bjälklagets massa per meter [kg]

$(EI)_L$  = böjstyvhet i bjälklagets styvaste riktning [ $\text{Nm}^2$ ]

$L$  = bjälklagets spännvidd [m]

Bjälklagens maximala spännvidd  $L_{max,F}$  med hänsyn till lägsta tillåtna egenfrekvens (8 Hz) beräknas genom att bjälklagets spännvidd  $L$  löses ut ur (52).

$$\rightarrow L_{max,F} = \sqrt{\frac{\pi}{2 \cdot f_1}} \cdot \sqrt[4]{\frac{(EI)_L}{m}}$$

### 5.3. Resultat

Listade materialvärden i Tabell 4 används i optimeringen. Samtliga värden är hämtade från KL-trähandboken [4] om inget annat anges.

Tabell 4 Materialvärden som används i optimeringen.

\* Hållfastheten vid rullskjuvning hos konstruktionsvirke är ungefär två gånger draghållfastheten vinkelrätt mot fibrerna [30]

	C24	C14	C24 längsgående C14 tvärgående
$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	420	350	420/350
$f_{mk}$ [MPa]	24	14	24
$f_{v,090,xlay,k}$ [MPa]	4	3	4
$f_{v,090,yly,k}$ [MPa]	4	3	3
$f_{v,9090,xlay,k}$ [MPa]	0,8*	0,8*	0,8*
$f_{c,0,x,k}$ [MPa]	21	16	21
$E_{m,0,mean}$ [MPa]	11 000	7 000	11 000
$E_{0,x,05}$ [MPa]	7 400	4 700	7 400
$G_{mean}$ [MPa]	690	440	690
$G_{9090,xlay,mean}$ [MPa]	50	50	50
$k_{def}$	0,85	0,85	0,85
$\gamma_m$	1,25	1,25	1,25
$k_{mod}$	0,8	0,8	0,8

- Laster som omfattas av optimeringen är nyttig last för bjälklag i bostad,  $q_k = 2,0$  kN/m<sup>2</sup>.
- Referensvärde för elasticitetsmodulen,  $E_{ref}$ , sätts lika  $E_{0,x} = 11\,000$  MPa.

Tabellförklaring för tabeller presenterade eller refererade till i Kapitel 5.3.1 och 5.3.2:

$M_{R,d}$  = Momentkapacitet i bjälklag i enhet [kNm]

$N_{c,R,d}$  = Tryckkraftskapacitet per breddmeter vägg i enhet [kN]

$V_{v,R,d}$  = Tvärkraftskapacitet per meter bjälklag med hänsyn till längsskjuvning i [kN]

$V_{Rv,R,d}$  = Tvärkraftskapacitet per meter bjälklag med hänsyn till rullskjuvning i [kN]

$V_{xy,R,d}$  = Tvärkraftskapacitet i väggskiva med hänsyn till panelskjuvning i xy-plan i [kN]

$V_{yx,R,d}$  = Tvärkraftskapacitet i väggskiva med hänsyn till panelskjuvning i yx-plan i [kN]

$N_{d,max}$  = Maximal tryckkraft per breddmeter vägg för att undvika böjknäckning i enhet [kN]

- $L_{max,q}$  = Maximal spännvidd för KL-träskiva i [m] med en utbredd last  $q$  och bredden 1,0 m.
- $L_{max,P}$  = Maximal spännvidd för KL-träskiva i [m] med en punktlast  $P$  och bredden 1,0 m
- $L_{max,F}$  = Maximal spännvidd för KL-träskiva i [m] med hänsyn till lägsta egenfrekvens på 8 Hz och bredden 1,0 m
- $L_{dim}$  = Dimensionerande (minsta) spännvidd utifrån  $L_{max,q}$ ,  $L_{max,P}$  och  $L_{max,F}$  i [m]

Tjocklekarna  $t_i$  samt  $t_j$  representerar tjockleken i [mm] för de längs- respektive tvärgående skikten.  $b$  representerar total tjocklek på KL-skivan i [mm]

### 5.3.1. Deformation i bruksgränstillståndet

När nedböjningar undersökts har den maximala spännvidden beräknats för en KL-bjälklagsstrimla med bredden 1,0 meter som utsätts för egentyngd och nyttig last för bjälklag i bostad i bruksgränstillståndet. I Tabell 5 redovisas ett urval av maximala spännvidder med hänsyn till punktlastkrav, nedböjningskrav och krav på lägsta egenfrekvens samt tvärsnittstorheter, materialkvalitet, momentkapacitet och tvärkraftskapacitet med hänsyn till längsskjuvning och rullskjuvning för 3-, 5- och 7-skiktsskivor med lika skiktjocklekar i samtliga skikt i respektive skiva.

De dimensionerande spännvidderna markeras med grön bakgrund i Tabell 5 samt Tabell B1 – B9.

Tabell 5 Kapaciteter och maximala spännvidder för ett urval av skivor med nedböjningskravet  $L/300$ , punktlastkravet  $1,5\text{ mm/kN}$  samt lägsta egenfrekvens  $8\text{ Hz}$

n	t <sub>i</sub> [mm]	t <sub>j</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet	M <sub>R,d</sub> [kNm]	V <sub>v,R,d</sub> [kN]	V <sub>rv,R,d</sub> [kN]	L <sub>max,q</sub> [m]	L <sub>max,P</sub> [m]	L <sub>max, f</sub> [m]	L <sub>dim</sub> [m]
3	10	10	30	C24	2,22	55,47	11,09	1,07	1,16	1,68	1,07
3	15	15	45	C24	4,99	83,20	16,64	1,59	1,74	2,25	1,59
3	20	20	60	C24	8,87	110,93	22,19	2,10	2,32	2,76	2,10
3	25	25	75	C24	13,87	138,67	27,73	2,60	2,90	3,22	2,60
3	30	30	90	C24	19,97	166,40	33,28	3,10	3,48	3,65	3,10
3	35	35	105	C24	27,18	194,13	38,83	3,59	4,06	4,05	3,59
3	40	40	120	C24	35,50	221,87	44,37	4,07	4,65	4,43	4,07
3	45	45	135	C24	44,93	249,60	49,92	4,54	5,23	4,79	4,54
5	10	10	50	C24	5,07	99,39	21,12	1,66	1,82	2,31	1,66
5	15	15	75	C24	11,40	149,08	31,68	2,45	2,73	3,07	2,45
5	20	20	100	C24	20,28	198,78	42,24	3,22	3,64	3,73	3,22
5	25	25	125	C24	31,68	248,47	52,80	3,98	4,55	4,34	3,98
5	30	30	150	C24	45,62	298,16	63,36	4,71	5,46	4,89	4,71
5	35	35	175	C24	62,09	347,86	73,92	5,43	6,37	5,41	5,41
5	40	40	200	C24	81,10	397,55	84,48	6,14	7,28	5,89	5,89
5	45	45	225	C24	102,64	447,25	95,04	6,83	8,19	6,35	6,35
7	10	10	70	C24	8,92	130,13	26,03	2,21	2,46	2,85	2,21
7	15	15	105	C24	20,08	195,20	39,04	3,26	3,69	3,76	3,26
7	20	20	140	C24	35,69	260,27	52,05	4,27	4,93	4,55	4,27
7	25	25	175	C24	55,77	325,33	65,07	5,25	6,16	5,26	5,25
7	30	30	210	C24	80,31	390,40	78,08	6,20	7,39	5,92	5,92
7	35	35	245	C24	109,31	455,47	91,09	7,12	8,62	6,52	6,52
7	40	40	280	C24	142,77	520,53	104,11	8,02	9,85	7,08	7,08
7	45	45	315	C24	180,70	585,60	117,12	8,89	11,08	7,61	7,61

Samtliga resultat för 3-, 5- och 7-skiktsskivor redovisas i Appendix B, Tabell B1 – B9.

### 5.3.2. Kapaciteter för väggskivor

Kapaciteter har beräknats för tre meter höga KL-träskivor med 3 eller 5 skikt som antas utgöra ett väggelement. Aktuella kapaciteter för skivan är tryckkraftskapacitet och tvärkraftskapacitet med hänsyn till panelskjuvning i väggens plan. Böjknäckning har beräknats för skivan genom att det horisontella böjmomentet har antagits vara direkt proportionellt mot tryckkraften, och således beräknades en maximal tryckkraft,  $N_{d,max}$ , för vilken kvoten mellan kapacitet och dimensionerande kraft och moment understiger ett.

Samtliga kapaciteter samt den maximala tryckkraften för att undvika böjknäckning redovisas per breddmeter vägg i Tabell 6 samt i Tabell B10 – B15.

Tabell 6 Tryck- och tvärkraftskapaciteter för ett urval skivor

n	$t_i$ [mm]	$t_j$ [mm]	h [mm]	Kvalitet	L [m]	$N_{c,R,d}$ [kN]	$V_{xy,R,d}$ [kN]	$V_{yx,R,d}$ [kN]	$N_{d,max}$ [kN]
3	10	10	30	C24	3	10,91	51,20	25,60	9,51
3	15	15	45	C24	3	35,99	76,80	38,40	29,59
3	20	20	60	C24	3	82,91	102,40	51,20	64,76
3	25	25	75	C24	3	156,58	128,00	64,00	116,96
3	30	30	90	C24	3	260,21	153,60	76,80	187,07
3	35	35	105	C24	3	394,93	179,20	89,60	275,04
3	40	40	120	C24	3	559,03	204,80	102,40	379,66
3	45	45	135	C24	3	746,70	230,40	115,20	498,27
5	10	10	50	C24	3	40,56	76,80	51,20	32,71
5	15	15	75	C24	3	130,59	115,20	76,80	97,20
5	20	20	100	C24	3	290,51	153,60	102,40	203,17
5	25	25	125	C24	3	521,06	192,00	128,00	348,90
5	30	30	150	C24	3	801,72	230,40	153,60	524,95
5	35	35	175	C24	3	1091,76	268,80	179,20	714,75
5	40	40	200	C24	3	1359,53	307,20	204,80	904,60
5	45	45	225	C24	3	1602,69	345,60	230,40	1091,43

Resultat för samtliga 3- och 5-skiktsskivor redovisas i Appendix B, Tabell B10 – B15.

### 5.3.3. Jämförelse för deformation mellan Timoshenko-teori och Gammametoden

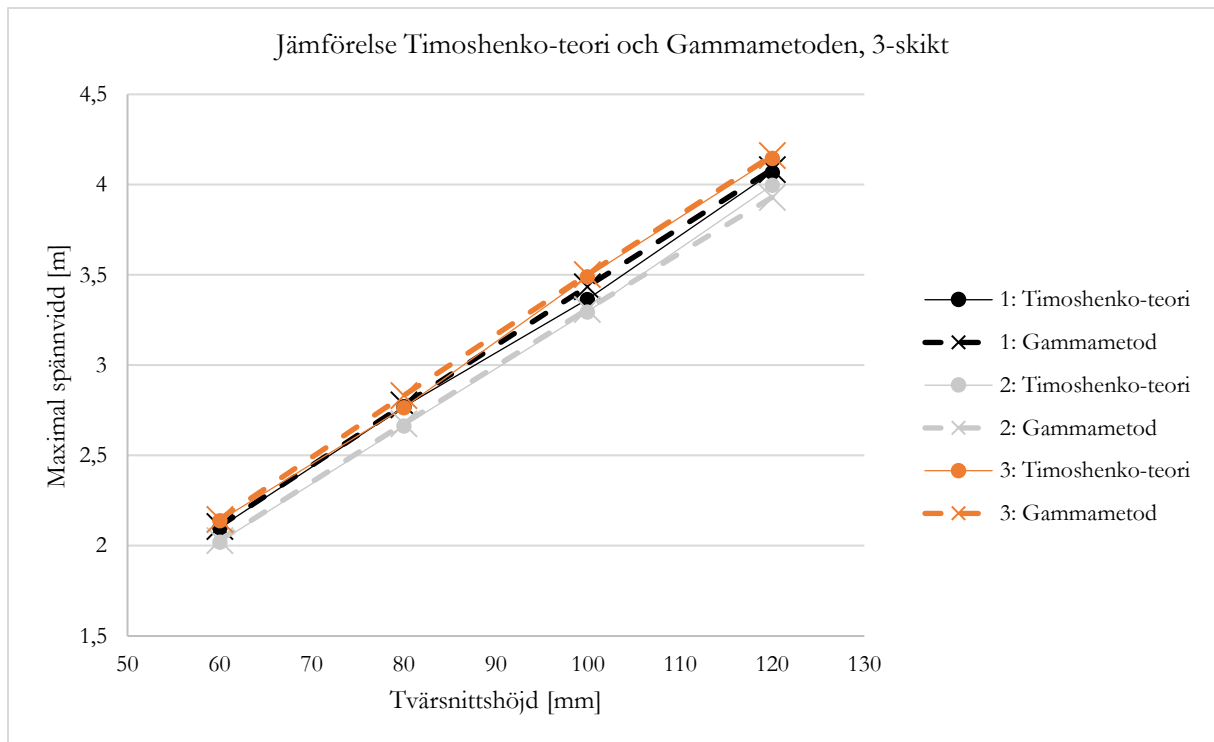
Diagrammen i Figur 18 och Figur 19 visar hur den maximala spännvidden för en fritt upplagd KL-träbjälklagsstrimla med enkel spännvidd och med bredden  $b_x = 1,0$  m varierar med bjälklagets totala tjocklek,  $b$ . Streckade linjer visar den maximala spännvidden då deformationerna beräknats med hjälp av Gammametoden. Heldragna linjer visar maximala spännvidder med avseende på deformationsberäkningar utifrån Timoshenko-teori. Spännvidden har beräknats för fyra olika tvärsnittshöjder för 3- respektive 5-skiktsskivor. Varje tvärsnittshöjd har i sin tur delats upp i tre olika skiktsammansättningar enligt nedan

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{upplägg 1: } t_i = t_j \\ \text{upplägg 2: } t_i = \frac{t_j}{2} \\ \text{upplägg 3: } t_i = 2 \cdot t_j \end{array} \right.$$

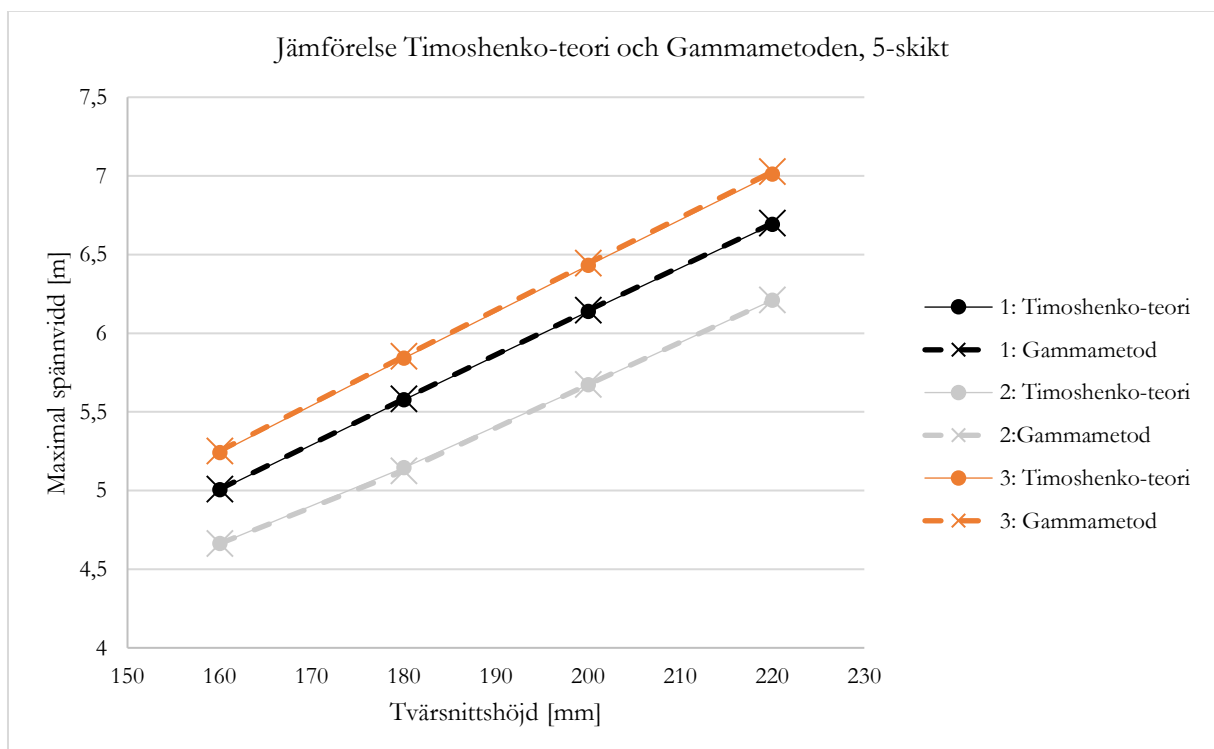
Där  $t_i$  är tjockleken på längsgående skikt i x-riktningen och  $t_j$  är tjockleken på tvärgående skikt i y-riktningen.

I Gammametoden beräknas nedböjningen som för en Euler-Bernoulli-balk, men där tillskottet till nedböjningen som beror på tvärkrafter tas med genom att använda ett effektivt tröghetsmoment,  $I_{ef}$ .  $I_{ef}$  är ett reducerat värde på nettotröghetsmomentet,  $I_{net}$ , som reduceras genom att man tar fram gammavärden som minskar varje del i Steiners sats enligt (24). Gammametoden beskrivs i Bilaga B i Eurokod 5, men formlerna för  $I_{ef}$  kan endast användas för 3-, och 5-skiktsskivor. För KL-träskivor med fler skikt än så blir beräkningarna avancerade och kräver fördjupning.

Också i Timoshenkos metod beror nedböjningen i en balk på böjmoment och tvärkraft. Balkens skjuveftergivlighet ger ett tillskott i nedböjningen som bestäms med hjälp av skjuvkorrektionsfaktorn  $\kappa$ . Jämfört med framtagning av gammavärden i Gammametoden, kan man med Timoshenko-teori enklare ta fram skjuvkorrektionsfaktorn för KL-träskivor med upp till 7 skikt. Detta medför att Timoshenkos metod med fördel används vid deformationsberäkningarna i optimeringen.



Figur 18 Spännviddskillnad mellan Timoshenko-teori och Gammametoden för en 3-skiktsskiva med fyra olika tvärsnittshöjder och tre olika skikt sammansättningar.



Figur 19 Spännviddskillnad mellan Timoshenko-teori och Gammametoden för en 5-skiktsskiva med fyra olika tvärsnittshöjder och tre olika skikt sammansättningar.





## 6. Diskussion

### 6.1. Jämförelse mellan Timoshenko-teori och Gammametoden

Jämförelsen mellan Timoshenko-teori och Gammametoden visar att det uppstår skillnad i resultat gällande maximala spännvidder beroende på vilken beräkningsmetod man använder sig av för deformationsberäkningar. Jämförelsen i detta fall är gjord för olika tvärsnittshöjder med olika tvärsnittsuppbyggnad för 3- respektive 5-skiktsskivor. Jämförelsen visar att skillnaden i spännvidd är större för 3-skiktsskivor, där den största procentuella skillnaden mellan metoderna var 2,5 %. För 5-skiktsskivor var den procentuella skillnaden mindre mellan metoderna, och var som mest 0,4 %. Över lag visar resultatet på att Gammametoden ger en längre maximal spännvidd, så när som på i två fall. Det visar även på att spännvidderna för de båda metoderna blev som längst med de tjockare skikten ytterst (skiktsammansättning 3), något som stämmer överens med det faktum att trä är styvast i x-riktningen. På samma sätt visar resultatet att spännvidderna blev kortast för båda metoderna då det tvärsgående skiktet var tjockare än det längsgående (skiktsammansättning 2).

Valet föll på att använda Timoshenko-teori i optimeringen. Detta på grund av att vi vid en optimering vill vara konsekventa i beräkningsmetoder och Gammametoden var väldigt avancerad och tidskrävande för 7-skiktsskivor. Dessutom var Timoshenko-teori lättare att applicera för KL-träskivor med 3, 5 och 7 skikt. När en jämförelse sedan gjordes kunde vi i Figur 18 och Figur 19 i Kapitel 5.3.3 konstatera att Gammametoden i princip i alla jämförda fall ger marginellt längre spännvidder än för Timoshenko-teori. Skillnaden är så små att det saknar betydelse vilken metod man använder vid dimensionering för en fritt upplagd bjälklagsstrimla utsatt för en utbredd last.

### 6.2. Optimering

Optimeringen i sin helhet bygger på kapaciteter för belastningssituationer såsom böjmoment, tvärkraft och tryckkraft. Dessa kapaciteter kan vi inte påverka, utan de beror helt på KL-träets hållfasthetsklass i olika riktningar samt tvärsnittsuppbyggnaden. Vid framtagning av maximala spännvidder har vi å andra sidan behövt använda oss av en, utifrån oss, bestämd last som belastar KL-träskivan. Detta gör att de spännvidder som tagits fram är helt beroende av våra val för hur stora laster ett bjälklag utsätts för. Utöver KL-träets egentyngd och nyttig last för bjälklag i bostad, har en konstant egentyngd om  $1 \text{ kN/m}^2$  lagts på för att ta hänsyn till övriga delar i ett bjälklag så som installationer, undertak, övergolv etcetera. Dessutom gjordes ett val gällande nedböjningskravet  $L/300$ . Det är ett vanligt använt krav för icke överhöjda bjälklag i bostäder, men ett skarpare eller snällare krav hade också gett stora skillnader i maximala spännvidder. Dessa val

har gett ett visst utfall gällande spännvidderna i resultaten i Appendix B. Hade vi gjort andra val än dessa, hade spännvidderna kunnat se väldigt annorlunda ut, vilket man ska ha i åtanke vid användning och tolkning av data.

### 6.2.1. Bjälklagens spännvidder

Optimeringen visar att det i teorin går att använda sig av bjälklag uppbyggda av 3-, 5- och 7-skiktsskivor. 3-skiktsskivor fungerar som bjälklag för de dimensioner som har minst 35 mm tjocka ytterlameller, då dessa har en maximal spännvidd från 3 meter upp till cirka 4,5 meter. En spännvidd på 3 meter är den vi anser vara den minsta praktiskt användningsbara spännvidden, och KL-träskivor med kortare spännvidder än så tas därför inte med här – de förkastas. Jämfört med 5- och 7-skiktsskivor, kan 3-skiktsskivor ses som ett billigare alternativ då de ger en mindre limåtgång och kortare presstider vid tillverkning. I intervallet 3 – 4,5 meter visar resultaten att 3-skiktsskivor har längre maximala spännvidder än 5-skiktsskivor vid samma tvärsnittshöjd  $h$ . Detta utelämnar dock krav på bland annat vibrationer och akustik, varför tillverkarnas rekommendationer på att föreslå åtminstone 5-skiktsskivor som bjälklagselement bör vara att föredra. Gällande brand kan det vara värt att notera att då man har PUR-lim i KL-träet så antas förkolningshastigheten vara fördubblad för de första 25 mm av varje skikt. Har man då en KL-träskiva med uteslutande tunna skikt ( $< 25$  mm), fördubblas förkolningshastigheten för hela skivan. Teoretiskt sett borde då detta innebära att 5-skiktsskivor med tunna lamelltjocklekar förkolnar snabbare än 3-skiktsskivor med samma tvärsnittshöjd och därmed tjockare lamelltjocklekar.

Spännvidderna för 5- och 7-skiktsskivor skiljer sig mycket beroende på sammansättningen av olika skiktjocklekar och hur tjocka ytter- och innerlamellerna är. Nedan presenteras ett exempel för att förtydliga komplexiteten kring val utifrån sammansättning.

*Exempel som går att utläsa från tabeller i Appendix B:* En 5-skiktsskiva med total tjocklek 200 mm,  $t_i = t_j = 40$  mm, och med materialkvalitet C24 har en maximal spännvidd på 5,89 meter. Om man istället tittar på 7-skiktsskivor med samma totala tjocklek, finns ett exempel på en sammansättning där  $t_i = 20$  mm och  $t_j = 40$  mm och med homogen kvalitet av C24, som har en maximal spännvidd på 5,36 meter. Vidare finns en annan sammansättning med samma totala tjocklek av 7 skikt där  $t_i = 35$  mm och  $t_j = 20$  mm med materialkvalitet C24, som har en maximal spännvidd på 5,93 meter.

Utifrån exemplet kan vi se att för samma totala tvärsnittshöjd kan en 7-skiktsskiva ha både längre och kortare maximal spännvidd än en 5-skiktsskiva med en viss skiktsammansättning. Det visar på komplexiteten i materialets uppbyggnad samt hur olika skikts variation i tjocklek påverkar spännvidden. Det finns flera olika sammansättningar som är fungerande alternativ för en och samma önskad spännvidd. I det stora spann av spännvidder som både 5- och 7-skiktsskivor kan klara av, finns inget självklart val gällande vilken skiva som är ”bättre” än en annan. Antalet val man kan göra är stort och det är i praktiken – enligt vår uppfattning – upp till tillverkarna att ta fram ett brett men väl sorterat sortiment som begränsar antalet val av uppbyggnader.

Gentemot 3-skiktsskivor, så kan man inte resonera på samma sätt med tillverknings- och råvarukostnader för 5- och 7-skiktsskivor. Trots att 5-skiktsskivor ger en mindre limåtgång och kortare presstider än 7-skiktsskivor, så behöver det nödvändigtvis inte betyda att totalkostnaden är lägre för 5-skiktsskivor. Detta på grund av att den totala mängden trä som går åt inte alltid är mindre för 5-skiktsskivor än för 7-skiktsskivor. Även om diskussionen kring kostnader för KL-träskivor hittills har baserats på direkta tillverkningskostnader från mängd råvara och lim samt presstid, så är framtagningen av kostnad mer komplex än så. Mycket mer finns att ta i beaktande sett utifrån tillverkarnas perspektiv, vilket diskuteras i Kapitel 6.3.

De maximala spännvidderna har bestämts med hänsyn till nedböjningskrav, punktlastkrav och krav på lägsta egenfrekvens. Vid framtagning av spännvidderna har i samtliga fall bjälklaget antagits vara enkelspant, det vill säga att det endast bär i en riktning. Utifrån resultatet kan man se att för spännvidder under cirka 5,3 meter är nedböjningskravet dimensionerande för samtliga fall som ingår i optimeringen. När spännvidderna överstiger cirka 5,3 meter blir istället kravet utifrån egenfrekvens det dimensionerande. Då spännvidder för 3-skiktsskivor inte når över 5 meter kommer det i samtliga fall vara nedböjningskravet som är dimensionerande för dessa skivor. Något som bör uppmärksammas är att punktlastkravet aldrig ger den dimensionerande maximala spännvidden i optimeringen. Det kan tolkas som att kravet i sig, som säger att mittnedböjningen på bjälklaget inte får överstiga 1,5 mm/kN, är ett generöst krav. Hade vi istället använt oss av det finska punktlastkravet på 0,5 mm/kN så hade det i många fall kunnat bli dimensionerande. Som exempel så tittar vi på en 5-skiktsskiva med hållfasthetsklass C24 och C14 och skiktjocklekar  $t_1 = 45$  mm och  $t_2 = 40$  mm. Med punktlastkravet  $a = 1,5$  mm/kN blir den maximala spännvidden 7,9 meter. Sätts punktlastkravet istället till  $a = 0,5$  mm/kN blir den maximala spännvidden 5,33 meter. Nämnvärt är dock att det finska kravet på lägsta egenfrekvens är 9 Hz [28], vilket i sin tur ger andra

spännvidder utifrån egenfrekvenskravet. Examensarbetet omfattar endast svenska byggregler och förhållanden, men exemplet tas upp för att visa till hur stor del spännvidderna beror av satta krav.

Ett val togs tidigt att avgränsa examensarbetet från att inkludera beräkningar som tar hänsyn till att KL-träskivor bär i två riktningar. Detta innebär att endast styvheten i längsriktningen tagits i hänsyn. Enligt teorin [4] kan man även tillgodoräkna styvheten i tvärsriktningen, varvid den beräknade deformationen kan reduceras med en lastfördelningsfaktor  $B_{df}$ . Denna lastfördelningsfaktor är beroende av bjälklagets längd samt dess böjstyvhet i längs- samt tvärsriktningen. Hade hänsyn tagits till detta hade deformationsberäkningarna givit längre spännvidder på grund av minskade nedböjningar.

### 6.2.2. Väggar

Tryckkraftskapaciteterna som beräknats för både rent tryck och kombinerad böjknäckning visar på att väggelement som består av bara tre skikt snabbt uppnår höga kapaciteter, vilket i princip innebär att väggar med fler än tre skikt är onödigt förutom i de fall då väldigt stora laster uppkommer, exempelvis på bottenvåningar i flervåningshus. Detta stämmer bra med vad respondenterna sagt, då de menar att det mestadels är 3-skiktsskivor som används som väggelement.

Exempelvis har en 3-skiktsskiva med skiktjocklek  $t_i = t_j = 40$  mm och materialkvalitet C24, en tryckkraftskapacitet på 559 kN då den utsätts för rent tryck. Tittar man med hänsyn till böjknäckning uppgår maximal tryckkraft till 379 kN. Jämför man dessa värden med en vanlig bostad med två våningar ligger kapaciteten för KL-träskivan vid en överslagsmässig beräkning i storleksordningen 10–20 gånger större än genomsnittlig last.

När det gäller böjknäckning har en mycket förenklad metod tagits fram. Antagandet som gjorts gällande att momentet är proportionellt mot normalkraften är en grov förenkling, då det uppkomna momentet inte har någon egentlig koppling till normalkraften i väggen. Denna metod ger dock en möjlighet att kontrollera kapaciteter vid böjknäckning, snarare än att jämföra nyttjandegrader vid belastning. Alternativet för att göra det senare hade annars varit att räkna på en, av oss, framtagna typbyggnad. Detta hade krävt många antaganden, och resultaten hade då endast blivit applicerbara för just detta scenario. Vald metod ger också möjlighet att jämföra ett väggelements kapaciteter om det används som inner- eller yttervägg.

## 6.3. Anknytning till intervjustudie

### 6.3.1. Sammansättning utifrån materialkvalitet och skiktjtjocklekar

Två av tre respondenter använder sig enbart av C24 i sina KL-träprodukter, medan en respondent tillverkar både homogena produkter av C24 samt heterogena produkter av C24 och C14. Utifrån optimeringen kan vi se att det inte finns någon nytta i att ha homogena element av C24, då man i princip alltid försummar y-riktningen (de tvärsgående skikten) när man tittar i x-riktningen (de längsgående skikten). Om man inte tar någon hänsyn till vilken materialkvalitet som finns i de tvärsgående skikten, så behöver man inte heller ha en hög hållfasthetsklass prioriterat för dessa skikt. Dessutom kan man utläsa från tabeller i Appendix B att heterogena element med C24 och C14 faktiskt klarar en marginellt längre spännvidd, vilket beror på att C14 har en lägre densitet än C24, och således blir egentyngden lägre. Å andra sidan har en KL-träskiva som enbart är uppbyggd av C24 en större kapacitet gällande panelskjuvning i yx-planet. Detta är aktuellt när man använder skivan som väggskiva.

Även om både homogena och heterogena skivor av KL-trä har sina för- och nackdelar, så landar valet ändå hos tillverkaren och utfallet i deras sågverk. Beroende på hållfasthetsklassen på det virke som sågas och hur mycket som finns att tillgå av olika hållfasthetsklasser, görs valet för vad KL-träet ska innehålla för materialkvalitet.

Något som också bör tas hänsyn till vid tillverkning är om man ska använda sig av skivor med skiktjtjocklekar som avviker från de populära tjocklekarna på marknaden. Med avvikande skiktjtjocklekar behöver virket hyvlas ned ytterligare från den närmast större dimensionen. Detta leder till att onödigt mycket värde hyvlas bort. Pondera att 35 och 40 mm skiktjtjocklekar hyvlas ned från exempelvis 42 mm. Detta innebär då att virket som hyvlats ned till 35 mm i praktiken kostar mer än det som endast hyvlats ned till 40 mm.

### 6.3.2. Kostnader

De enda faktorer gällande kostnad som vi relativt lätt hade kunnat ta hänsyn till i optimeringen är volym av råvara ( $m^3$ ) samt mängd lim utifrån antal skikt i skivan. Dessvärre hade den relativa kostnaden som dessa faktorer lett till, ändå inte varit relevanta i diskussionen kring kostnader. Detta beror på de flertalet faktorer som ligger utanför våra avgränsningar och som är för komplexa för att kunna ta hänsyn till i detta examensarbete. Exempelvis är det för oss svårt att uppskatta en

skillnad i relativ kostnad mellan C24 och C14. Då ett träd som kommer in till sågverket redan står för en fast kostnad, blir kostnaden för virket som sågas ur detta träd samma oavsett om det är C14 eller C24. Om utfallet av C14 är stort i trädet så kan det ses som en förlorad intäkt för tillverkaren ifall C24 säljs dyrare på marknaden. Dessutom är det beroende på tillverkarens lagerhållning av olika kvaliteter, då en kvalitet med en hög efterfrågan kan värderas högre på marknaden. Andra faktorer som påverkar slutkostnaden för ett KL-träelement är produktionskostnader (bland annat CNC-bearbetning, hyvling, limning, fingerskarvning), personalkostnader, logistik och produktutveckling. Utifrån intervjustudien har vi förstått att de senare nämnda faktorerna har en väldigt stor påverkan på priset för KL-trä. Kostnaden för råvaran i sig är endast en av flera påverkande faktorer för den totala kostnaden.

#### 6.4. Avslutande diskussion

Sammanfattningsvis kan man utifrån resultatet i optimeringen se att det finns väldigt många olika skiktssammansättningar som kan utgöra bjälklag av KL-trä. Sett ur respondenternas perspektiv är 5- och 7-skiktsskivornas huvudsakliga uppgift när det kommer till bärande byggnadsdelar att utgöra bjälklag. Ser man det ur optimeringen fungerar även vissa 3-skiktsskivor. När det kommer till KL-träskivor som bärande väggelement kommer man snabbt upp i höga kapaciteter redan för 3-skiktsskivor. Det är inte förrän vid mycket stora laster, exempelvis i flervåningshus, som 5- och 7-skiktsskivor kan behöva användas som bärande väggar. I och med att brand- och akustikkrav inte tagits med vid optimeringen, kan vi inte heller utesluta att det är dessa krav som hindrar 3-skiktsskivor att utgöra bjälklag. Inte heller kan vi veta ifall skiktjtjocklekar mindre än 20 mm (som till synes inte används på den svenska KL-trämarknaden idag) är en acceptabel lamelltjocklek att använda i en skiva.

Optimeringen visar också på hur stort antalet valmöjligheter är när det kommer till att ta fram skiktssammansättningar som är bättre än andra för ett visst spännviddsintervall. Då många olika sammansättningar har liknande prestanda, så faller valet mest troligt på den produkt som har skiktjtjocklekar som är vanligt förekommande och därmed är mer produktionsekonomiskt fördelaktig på grund av att varje lamell har flera andra möjliga ändamål.

Möjligheterna hos materialet är många. När man har möjlighet att kombinera skikt på olika sätt för att uppnå en viss spännvidd eller prestanda, så kan man som kund också påverka valet. Om det exempelvis är viktigt för kunden att ha ett tunt bjälklag för att öka rymden i ett rum, kan man ta fram ett tunnare bjälklag, men som kanske har fler skikt, gentemot om man hade haft ett tjockare

bjälklag. Som slutkund är centrala krav gällande utformning oftast totala tjocklekar på elementet, fria spännvidder och kapaciteter. Ett sätt att ge tillverkare valfrihet i uppbyggnaden av KL-träskivor och samtidigt säkerställa att kundens krav efterlevs är att ta fram sortiment av ”standardiserade produktklasser” likt de som idag finns för limträ. För limträ finns ett visst sortiment med dimensioner, som kan fås i olika hållfasthetsklasser (exempelvis GL30c, GL28hs). Själva uppbyggnaden av limträet gällande hållfasthetsklass kan vara både kombinerad (heterogen) och homogen. Ett liknande koncept hade kunnat appliceras för KL-trä där man som kund/konsult kan välja en tvärsnittshöjd och en hållfasthetsklass som redovisar kapaciteter för elementet på hur det belastas. Sedan är det upp till tillverkare att välja inre skiktsammansättning som följer standardens krav. Andra fördelar med KL-trä är möjligheten att kunna få ett helt kundanpassat element levererat tack vare CNC-bearbetningen i tillverkningen. Kostnaden för KL-träelement kan således variera mycket men behovet kommer alltid kunna tillgodoses.





## 7. Slutsats

Examensarbetet är utfört för att besvara följande frågeställningar:

- Hur kan man optimera KL-träets uppbyggnad?

En optimering kan utföras på flertalet olika sätt. Utöver optimeringen med hänsyn till kapaciteter och maximala spännvidder som undersökts i detta examensarbete kan en optimering även inkludera brand- och akustikkraV. Uppbyggnaden kan också optimeras med hänsyn till kostnad för elementet eller med hänsyn till total tvärsnittstjocklek. Syftet bakom varför en optimering utförs styr vad som inkluderas i den.

- Vilka parametrar är viktiga att ta hänsyn till i samband med utformning av produktutbud för KL-trätillverkare? Exempel på parametrar kan vara teknisk prestanda och kostnad.

Gemensamt för de intervjuade KL-trätillverkarna är att utformningen av produktutbudet med fördel utförs med lamelldimensioner som är vanligt förekommande och har ett brett användningsområde. Viktiga parametrar för utformningen är teknisk prestanda (kapaciteter) och tillverkningskostnader.

Utifrån optimeringen kan vi dra slutsatsen att för KL-träskivor som utgör väggskiva är i de flesta fall 3-skiktsskivor tillräckligt bra prestandamässigt, förutom i undantagsfall nämnda i diskussionen. Gällande skivor som utgör bjälklag visar optimeringen på att 3-skiktsskivor är att föredra då möjligheten finns. När det kommer till 5- och 7-skiktsskivor finns inga tydliga slutsatser att dra gällande vilken skiva som föredras med hänsyn till prestanda. Parametrar som här istället verkar vara avgörande och styrande är marknadspriser och tillgångar på material i olika hållfasthetsklasser samt vad respektive tillverkare utgår från för dimensioner.

- Vilka begränsningar har KL-trätillverkarna idag? Begränsas tillverkaren av tillgång på råvara eller produktionstekniska aspekter?

Gällande produktionsspecifika begränsningar kan sägas att de enda egentliga begränsningarna som tillverkare har är den egna maximala tillverkningskapaciteten och vilka dimensioner (B x L) på elementen som de kan producera. Utifrån rapporten kan sägas att tillverkare varken begränsas av

tillgång på råvara eller produktionstekniska aspekter, utan att det snarare handlar om att de styrs av tidigare nämnda parametrar.

### 7.1. Förslag på fortsatta studier

- Examensarbetet avgränsade sig från att ta hänsyn till bärighet i två riktningar. Eftersom en grundidé med KL-trä är att materialet ska kunna ta upp laster i två riktningar hade en analys som inkluderar detta varit intressant.
- Ett alternativ till hur en analys hade kunnat genomföras är att man minskar antalet studerade skivor (av diverse skiktsammansättningar) till endast ett fåtal olika varianter. Dessa skivor hade man kunnat göra en mer omfattande analys med där man även inkluderar vibrationer, brandkrav och akustikkraV.
- Istället för att ta fram KL-träets kapaciteter genom teoretisk beräkning hade man kunnat ta fram kapaciteter genom provning i laboratoriemiljö för vissa belastningssituationer.

## Litteraturförteckning

- [1] SkogsIndustrierna, ”Fakta & Nyckeltal,” Föreningen Skogsindustrierna, [Online]. Available: <https://www.skogsindustrierna.se/skogsindustrin/skogsindustrin-i-korthet/fakta--nyckeltal/>. [Använd 26 02 2019].
- [2] Naturvårdsverket, ”Sveriges Miljömål,” [Online]. Available: <http://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/god-bebyggd-miljo/>. [Använd 26 02 2019].
- [3] Svenskt Trä, ”Bygg Klimatsmart,” [Online]. Available: <https://www.svensktra.se/anvand-tra/byggande/varfor-tra/bygg-klimatsmart/#>. [Använd 25 04 2019].
- [4] Svenskt Trä, ”KL-trähandbok,” Skogsindustrierna, Stockholm, 2017.
- [5] J. Trost, Kvalitativa Intervjuer, Uppsala: Studentlitteratur, 2005.
- [6] FP Innovations, ”CLT Handbook,” FP Innovations, Pointe-Claire, 2013.
- [7] Gerd Ebner, ”CLT production is expected to double until 2020,” Timber-Online, 13 06 2017. [Online]. Available: <https://www.timber-online.net/holzprodukte/2017/06/brettsperrholz-produktion-in-europa---20162020.html>. [Använd 27 02 2019].
- [8] Martinsons, ”Objektsanpassat KL-trä,” [Online]. Available: <https://www.martinsons.se/sagade-travaror-och-byggprodukter/limtra-och-kl-tra-for-byggnadsobjekt/kl-tra/>. [Använd 27 02 2019].
- [9] P. Höiseth, ”Skogsjättarna miljardinvesterar i trähus,” Dagens Industri, 23 08 2018. [Online]. Available: <https://www.di.se/nyheter/skogsjattarna-miljardinvesterar-i-trahus/?loggedin=true>. [Använd 27 02 2019].
- [10] Betongindustri, ”Tekniska egenskaper,” [Online]. Available: <https://www.betongindustri.se/sv/tekniska-egenskaper>. [Använd 25 04 2019].
- [11] J. Arfvidsson, L.-E. Harderuo och I. Samuelson, Fukthandboken, Lund: AB Svensk Byggtjänst, 2017.
- [12] TräGuiden, ”Brand,” Svenskt Trä, 07 07 2017. [Online]. Available: <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/vaggar/6.4-brand/brand/>. [Använd 15 04 2019].
- [13] K. Hagberg, ”Tre exempel på akustiklösningar i träbyggande,” SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, 2014.
- [14] TräGuiden, ”Bjälklag,” Svenskt Trä, 07 07 2017. [Online]. Available: <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/bjalklag/>. [Använd 27 02 2019].
- [15] Nationalencyklopedin, ”Vägg,” [Online]. Available: <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/enkel/v%C3%A4gg>. [Använd 25 04 2019].
- [16] Svenskt Trä, ”Trä är ett hållbart material,” [Online]. Available: <https://www.svensktra.se/om-tra/att-valja-tra/tra-och-miljo/tra-ar-ett-hallbart-byggmaterial/>. [Använd 29 04 2019].
- [17] TräGuiden, ”Lim,” Svenskt Trä, 16 01 2017. [Online]. Available: <https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/projektering-av-limtrakonstruktioner/limtra-som-konstruktionsmaterial1/tillverkning-av-limtra/lim/>. [Använd 13 03 2019].
- [18] Martinsons Group AB, ”Om Martinsons,” [Online]. Available: <https://www.martinsons.se/om-martinsons/>. [Använd 01 04 2019].

- [19] Setra Group AB, "Om Setra," [Online]. Available: <https://www.setragroup.com/sv/om-setra/>. [Använd 01 04 2019].
- [20] Södra, "Om Södra," [Online]. Available: <https://www.sodra.com/sv/om-sodra/>. [Använd 01 04 2019].
- [21] S. Bregge, T. Nord och L. Stehn, "Industriellt byggande i trä – nuläge och prognos mot 2025," Linköpings Universitet, Linköping, 2017.
- [22] T. Isaksson och A. Mårtensson, Byggkonstruktion - regel- och formelsamling, Lund: Studentlitteratur AB, 2016.
- [23] Boverket, "Boverkets konstruktionsregler, EKS10," Boverket internt, Karlskrona, 2016.
- [24] T. Isaksson, A. Mårtensson och S. Thelandersson, Byggkonstruktion, Lund: Studentlitteratur AB, 2016.
- [25] Träguiden, "Deformationsbegränsningar," Svenskt Trä, [Online]. Available: <https://www.traguiden.se/konstruktion/limtrakonstruktioner/projektering-av-limtrakonstruktioner/bruksgranstillstand/statiska-deformationer/deformationsbegransningar/#tab6-1>. [Använd 03 05 2019].
- [26] S. / T. 1. / A. 4. Kommittén för Bärande träkonstruktioner, *SVENSK STANDARD SS-EN 16351:2015*, Stockholm: Swedish Standards Institute, 2015.
- [27] S. Heyden, O. Dahlblom, A. Olsson och G. Sandberg, "Skjuvspänning," i *Introduktion till strukturmekniken*, Lund, Studentlitteratur AB, 2017, p. 42.
- [28] Ympäristöministeriö (Miljöministeriet), "Konstruktioners hållfasthet och stabilitet - Träkonstruktioner," Byggnadsrådet, Helsingfors, 2016.
- [29] Swedish Standards Institute, *Svensk Standard SS-EN 1995-1-1:2004*, Stockholm: SIS Förlag AB, 2009.
- [30] Svenskt Trä, "Materialegenskaper för standardiserade träprodukter," i *Dimensionering av träkonstruktioner, Del 2*, Stockholm, Skogsindustrierna, 2016, p. 14.

# Appendix A

Tabell A 1 Underlag till Respondent 1

<b>Tillverkningsprocessen</b> <i>(Med produktionskedja menas processen från att träet kommer till sågverket till och med att en färdig produkt är producerad. Hänsyn tas endast till produktionstekniska aspekter (maskin och råvara), och inte till exempel logistik och personal)</i>
1. Var i produktionskedjan ser ni mest svårigheter? I) Beskriv problemet/problemen. Varför är det problematiskt?
2. Var i produktionskedjan ser ni mest utvecklingspotential? I) Hur kan detta förbättras? II) Finns det delprocesser som inte går att utveckla?
3. Vilket lim använder ni vid tillverkning av KL-trä? I) Varför använder ni er av detta?
4. Hur ser ni på användandet av kantlimning i era produkter? I) Varför/varför inte använda det?
5. Har ni ett sågverk i direkt anslutning till KL-trä-produktionen? I) Om sågverk ej finns i anslutning till produktion: Hur lång tid tar processen från färdiga lameller till färdigt KL-trä? II) Om sågverk finns i anslutning till produktion: Hur lång tid tar processen från att träd kommer till sågverket till färdigt KL-trä?
6. Vilka tekniska begränsningar upplever ni vid tillverkning?
<b>Produktutbudet</b>
7. Är det den totala tjockleken på elementet som styr lamelltjockleken, eller vice versa?
8. Hur kommer det sig att ert produktutbud ser ut som det gör, vad har ni tagit i hänsyn? Är det framtaget med slutanvändning i åtanke (bjälklag, vägg)?
9. Vilka överväganden gör ni vid framtagning av homogena respektive heterogena KL-trä-element (sett till hållfasthetsklass)? Vilka för- och nackdelar finns för respektive uppbyggnad?
10. Vad ser ni för problem med KL-trä som konstruktionsmaterial?

<p>11. Säljer ni rena KL-träskivor, eller säljer ni produkter med högre grad av prefabricering, till exempel uppbyggda bjälklag/väggar med isolering?</p> <p>I) Varför denna prefabriceringsgrad?</p>
<p>12. Hur stor är den procentuella skillnaden i kostnad för olika lamelldimensioner (i första hand tjocklek), förutsatt att de är av samma hållfasthetsklass?</p>
<p>13. Hur stor är den procentuella skillnaden i kostnad för lameller med olika hållfasthetsklass, till exempel C14 och C24?</p>
<p><b>Marknaden</b></p>
<p>14. Vad ser ni för möjligheter med materialet och hur ser ni på framtiden för KL-träanvändandet?</p> <p>I) Kommer det nya användningsområden?</p> <p>II) Kommer användandet av KL-trä öka, i sådana fall hur mycket?</p>
<p>15. Hur tror ni att den svenska marknaden för KL-trä utvecklar sig?</p>
<p>16. Flera aktörer är idag i uppstartsfas på den svenska marknaden för KL-trä. Hur kommer ni särskilja er från andra på marknaden?</p>
<p>17. Var finns era kunder? Är det mestadels svenska eller utländska kunder?</p>
<p><b>Tillverkningsspecifika frågor</b></p>
<p>18. I Bygdsiljum har ni både KL-trä- och limträ-tillverkning. Påverkar produktionen av dessa varandra, eller kan de tillverkas oberoende varandra? Hur stor andel av träråvaran kan sågas i samma dimension och användas till båda?</p>
<p>19. Hur ser er tillverkningsprocess ut för KL-trä?</p> <p>I) Kan ni specificera sågprocessen, fingerskarvningsprocessen och limningsprocessen?</p>
<p>20. Finns det produktionstekniskt skillnad i svårighet med att tillverka KL-trä med olika dimensioner och antal skikt?</p> <p>I) Om ja, vilka dimensioner och antal skikt är svårast?</p>
<p>21. När man tittar på produktutbudet på er hemsida så är KL-träelementens tjocklek i jämna tiotals millimeter (ex. 120, 130, 140 mm). Varför har ni valt dessa dimensioner och hur har ni kommit fram till detta?</p>
<p>22. På er hemsida har ni ett KL-trä-element med tjocklek 90 mm uppbyggt av tre skikt á 30 mm. Vad är det som gör att ni har just den sammansättningen och inte exempelvis 35 - 20 - 35?</p>

23. Tillverkar ni enbart på beställning eller har ni ett standardutbud som ni lagerhåller och sedan modifierar efter kundens önskemål?
24. Har ni flaskhalsar i produktionen som uppstår p.g.a. produktionsteknik eller råvaran? I) I så fall under vilka moment?
25. Har ni några dimensioner/kombinationer som är mer populära än andra? I) Varför tror ni vissa är mer populära än andra?
26. Vilka för- och nackdelar finns det med att vara ensam tillverkare i Sverige för KL-trä?
27. Ni har länge varit ensamma med att tillverka KL-trä i Sverige, varför tror ni att det först nu tillkommer nya KL-trätillverkare?

Tabell A 2 Underlag till Respondent 2

<p><b>Tillverkningsprocessen</b></p> <p><i>(Med produktionskedjan menas processen från att träet kommer till sågverket till och med att en färdig produkt är producerad. Hänsyn tas endast till produktionstekniska aspekter (maskin och råvara), och inte till exempel logistik och personal)</i></p>
<p>1. Var i produktionskedjan tror ni mest svårigheter kan uppkomma? I) Beskriv problemet/problemen. Varför är det problematiskt?</p>
<p>2. Var i produktionskedjan ser ni mest utvecklingspotential? I) Hur kan detta förbättras? II) Finns det delprocesser som inte går att utveckla?</p>
<p>3. Vilket lim tänker ni använda vid tillverkning av KL-trä? I) Varför använder ni er av detta?</p>
<p>4. Hur ser ni på användandet av kantlimning i era produkter? I) Varför/varför inte använda det?</p>
<p>5. Kommer ni ha ett sågverk i direkt anslutning till KL-trä-produktionen? I) <i>Om sågverk ej finns i anslutning till produktion:</i> Hur lång tid tar processen från färdiga lameller till färdigt KL-trä? II) <i>Om sågverk finns i anslutning till produktion:</i> Hur lång tid tar processen från att träd kommer till sågverket till färdigt KL-trä?</p>
<p>6. Vilka tekniska begränsningar tror ni kan uppkomma vid tillverkning?</p>
<p><b>Produktutbudet</b></p>
<p>7. Är det den totala tjockleken på elementet som styr lamelltjockleken, eller vice versa?</p>
<p>8. Hur kommer det sig att ert preliminära produktutbud ser ut som det gör, vad har ni tagit i hänsyn? Är det framtaget med slutanvändning i åtanke (bjälklag, vägg)?</p>
<p>9. Vilka överväganden kommer ni göra vid framtagning av homogena respektive heterogena KL-träelement (sett till hållfasthetsklass)? Vilka för- och nackdelar finns för respektive uppbyggnad?</p>
<p>10. Vad ser ni för problem med KL-trä som konstruktionsmaterial?</p>
<p>11. Kommer ni sälja rena KL-träskivor, eller säljer ni produkter med högre grad av prefabricering, till exempel uppbyggda bjälklag/väggar med isolering? I) Varför denna prefabriceringsgrad?</p>
<p>12. Hur stor är den procentuella skillnaden i kostnad för olika lamelldimensioner, förutsatt att de är av samma hållfasthetsklass?</p>



13. Hur stor är den procentuella skillnaden i kostnad för lameller med olika hållfasthetsklass, till exempel C14 och C24?
<b>Marknaden</b>
14. Vad ser ni för möjligheter med materialet och hur ser ni på framtiden för KL-trä-användandet? I) Kommer det nya användningsområden? II) Kommer användandet att öka, i sådana fall hur mycket?
15. Hur tror ni att den svenska marknaden för KL-trä utvecklar sig?
16. Flera aktörer är idag i uppstartsfas på den svenska marknaden för KL-trä. Hur kommer ni särskilja er från andra på marknaden?
17. Var finns era kunder? Är det mestadels svenska eller utländska kunder?
<b>Tillverkningsspecifika frågor</b>
18. Hur har ni tänkt att er tillverkningsprocess ska se ut för KL-trä? I) Kan ni specificera sågprocessen, fingerskarvningsprocessen och limningsprocessen?
19. Hur ser ni på marknaden för svenskt KL-trä i Sverige?
20. Varför väljer ni att börja med KL-trä nu?
21. I Långshyttan kommer ni ha både KL-trä- och limträ-tillverkning. Kommer dessa produceras i samma fabrik? I) <i>Om ja</i> , tror ni produktionen av de båda kommer att påverka varandra, eller kan de tillverkas oberoende varandra?
22. Ser ni redan nu några eventuella flaskhalsar i den kommande produktionen?

Tabell A 3 Underlag till Respondent 3

<p><b>Tillverkningsprocessen</b></p> <p><i>(Med produktionskedjan menas processen från att träet kommer till sågverket till och med att en färdig produkt är producerad. Hänsyn tas endast till produktionstekniska aspekter (maskin och råvara), och inte till exempel logistik och personal)</i></p>
<p>1. Var i produktionskedjan tror ni mest svårigheter kan uppkomma? I) Beskriv problemet/problemen. Varför är det problematiskt?</p>
<p>2. Var i produktionskedjan ser ni mest utvecklingspotential? I) Hur kan detta förbättras? II) Finns det delprocesser som inte går att utveckla?</p>
<p>3. Vilket lim tänker ni använda vid tillverkning av KL-trä? I) Varför använder ni er av detta?</p>
<p>4. Hur ser ni på användandet av kantlimning i era produkter? I) Varför/varför inte använda det?</p>
<p>5. Kommer ni ha ett sågverk i direkt anslutning till KL-trä-produktionen? I) <i>Om sågverk ej finns i anslutning till produktion:</i> Hur lång tid tar processen från färdiga lameller till färdigt KL-trä? II) <i>Om sågverk finns i anslutning till produktion:</i> Hur lång tid tar processen från att träd kommer till sågverket till färdigt KL-trä?</p>
<p>6. Vilka tekniska begränsningar tror ni kan uppkomma vid tillverkning?</p>
<p><b>Produktutbudet</b></p>
<p>7. Är det den totala tjockleken på elementet som styr lamelltjockleken, eller vice versa?</p>
<p>8. Hur kommer det sig att ert preliminära produktutbud ser ut som det gör, vad har ni tagit i hänsyn? Är det framtaget med slutanvändning i åtanke (bjälklag, vägg)?</p>
<p>9. Vilka överväganden kommer ni göra vid framtagning av homogena respektive heterogena KL-träelement (sett till hållfasthetsklass)? Vilka för- och nackdelar finns för respektive uppbyggnad?</p>
<p>10. Vad ser ni för problem med KL-trä som konstruktionsmaterial?</p>
<p>11. Kommer ni sälja rena KL-träskivor, eller säljer ni produkter med högre grad av prefabricering, till exempel uppbyggda bjälklag/väggar med isolering? I) Varför denna prefabriceringsgrad?</p>
<p>12. Hur stor är den procentuella skillnaden i kostnad för olika lamelldimensioner, förutsatt att de är av samma hållfasthetsklass?</p>

13. Hur stor är den procentuella skillnaden i kostnad för lameller med olika hållfasthetsklass, till exempel C14 och C24?
<b>Marknaden</b>
14. Vad ser ni för möjligheter med materialet och hur ser ni på framtiden för KL-trä-användandet? I) Kommer det nya användningsområden? II) Kommer användandet att öka, i sådana fall hur mycket?
15. Hur tror ni att den svenska marknaden för KL-trä utvecklar sig?
16. Flera aktörer är idag i uppstartsfas på den svenska marknaden för KL-trä. Hur kommer ni särskilja er från andra på marknaden?
17. Var finns era kunder? Är det mestadels svenska eller utländska kunder?
<b>Tillverkningsspecifika frågor</b>
18. Hur har ni tänkt att er tillverkningsprocess ska se ut för KL-trä? I) Kan ni specificera sågprocessen, fingerskarvningsprocessen och limningsprocessen?
19. Hur ser ni på marknaden för svenskt KL-trä i Sverige?
20. Varför väljer ni att börja med KL-trä nu?
21. Varför bestämde ni er för tillverkning av just KL-trä, istället för till exempel limträ?
22. Planerar ni att anlägga KL-träproduktionen separat med eget sågverk, eller i anslutning till nuvarande anläggningar?
23. Ser ni redan nu några eventuella flaskhalsar i den kommande produktionen?
24. När man tittar på produktutbudet på er hemsida så är KL-träelementens tjocklek i jämna tiotals millimeter (ex. 120, 140, 160 mm). Varför har ni valt dessa dimensioner och hur har ni kommit fram till detta?



## Appendix B

Tabell B 1

n	$t_i$ [mm]	$t_j$ [mm]	h [mm]	Kvalitet	$M_{R,d}$ [kNm]	$V_{v,t,d}$ [kN]	$V_{v,t,d}$ [kN]	$V_{v,t,d}$ [kN]	$L_{max,q}$ [m]	$L_{max,p}$ [m]	$L_{max,f}$ [m]	$L_{dim}$ [m]
3	10	10	30	C24	2,22	55,47	11,09	1,07	1,16	1,68	1,07	
3	10	10	30	C14	1,29	41,60	11,09	0,92	1,00	1,69	0,92	
3	15	15	45	C24	4,99	83,20	16,64	1,59	1,74	2,25	1,59	
3	15	15	45	C14	2,91	62,40	16,64	1,38	1,50	2,27	1,38	
3	20	20	60	C24	8,87	110,93	22,19	2,10	2,32	2,76	2,10	
3	20	20	60	C14	5,18	83,20	22,19	1,82	2,00	2,78	1,82	
3	25	25	75	C24	13,87	138,67	27,73	2,60	2,90	3,22	2,60	
3	25	25	75	C14	8,09	104,00	27,73	2,26	2,51	3,25	2,26	
3	30	30	90	C24	19,97	166,40	33,28	3,10	3,48	3,65	3,10	
3	30	30	90	C14	11,65	124,80	33,28	2,70	3,01	3,69	2,70	
3	35	35	105	C24	27,18	194,13	38,83	3,59	4,06	4,05	3,59	
3	35	35	105	C14	15,85	145,60	38,83	3,12	3,51	4,11	3,12	
3	40	40	120	C24	35,50	221,87	44,37	4,07	4,65	4,43	4,07	
3	40	40	120	C14	20,71	166,40	44,37	3,55	4,01	4,50	3,55	
3	45	45	135	C24	44,93	249,60	49,92	4,54	5,23	4,79	4,54	
3	45	45	135	C14	26,21	187,20	49,92	3,97	4,51	4,87	3,97	

Tabell B 2

n	t <sub>1</sub> [mm]	t <sub>2</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet	M <sub>R,d</sub> [kNm]	V <sub>v,f,d</sub> [kN]	V <sub>v,f,d</sub> [kN]	V <sub>v,f,d</sub> [kN]	L <sub>max,q</sub> [m]	L <sub>max,p</sub> [m]	L <sub>max,f</sub> [m]	L <sub>dim</sub> [m]
3	10	15	35	C24	2,89	67,41	13,48	1,22	1,33	1,86	1,22	1,22
3	10	20	40	C24	3,58	79,64	15,93	1,36	1,49	2,02	1,36	1,36
3	10	25	45	C24	4,30	92,04	18,41	1,50	1,64	2,17	1,50	1,50
3	10	30	50	C24	5,02	104,53	20,91	1,63	1,79	2,30	1,63	1,63
3	15	10	40	C24	4,03	71,68	14,34	1,43	1,57	2,08	1,43	1,43
3	15	20	50	C24	5,99	95,09	19,02	1,74	1,91	2,41	1,74	1,74
3	15	25	55	C24	7,02	107,20	21,44	1,88	2,07	2,55	1,88	1,88
3	15	30	60	C24	8,06	119,47	23,89	2,02	2,23	2,69	2,02	2,02
3	15	35	65	C24	9,13	131,84	26,37	2,16	2,39	2,82	2,16	2,16
3	20	10	50	C24	6,35	88,18	17,64	1,79	1,97	2,44	1,79	1,79
3	20	15	55	C24	7,59	99,35	19,87	1,95	2,15	2,61	1,95	1,95
3	20	25	65	C24	10,20	122,79	24,56	2,25	2,49	2,90	2,25	2,25
3	20	30	70	C24	11,56	134,83	26,97	2,39	2,66	3,04	2,39	2,39
3	20	35	75	C24	12,94	147,01	29,40	2,53	2,82	3,17	2,53	2,53
3	20	40	80	C24	14,34	159,29	31,86	2,66	2,98	3,29	2,66	2,66
3	25	10	60	C24	9,17	104,84	20,97	2,15	2,38	2,78	2,15	2,15
3	25	15	65	C24	10,68	115,73	23,15	2,30	2,55	2,93	2,30	2,30
3	25	20	70	C24	12,25	127,05	25,41	2,46	2,73	3,08	2,46	2,46
3	25	30	80	C24	15,52	150,50	30,10	2,75	3,07	3,35	2,75	2,75
3	25	35	85	C24	17,20	162,49	32,50	2,89	3,24	3,48	2,89	2,89
3	25	40	90	C24	18,92	174,61	34,92	3,03	3,40	3,60	3,03	3,03
3	25	45	95	C24	20,65	186,82	37,36	3,16	3,57	3,72	3,16	3,16
3	30	10	70	C24	12,51	121,60	24,32	2,50	2,78	3,10	2,50	2,50
3	30	15	75	C24	14,28	132,27	26,45	2,65	2,96	3,24	2,65	2,65

3	30	20	80	C24	16,13	143,36	28,67	2,80	3,14	3,39	2,80
3	30	25	85	C24	18,03	154,76	30,95	2,95	3,31	3,52	2,95
3	30	35	95	C24	21,95	178,22	35,64	3,24	3,65	3,77	3,24
3	30	40	100	C24	23,96	190,17	38,03	3,38	3,82	3,89	3,38
3	30	45	105	C24	26,00	202,24	40,45	3,52	3,99	4,01	3,52
3	35	15	85	C24	18,39	148,91	29,78	3,00	3,36	3,54	3,00
3	35	20	90	C24	20,51	159,81	31,96	3,15	3,54	3,67	3,15
3	35	25	95	C24	22,68	171,02	34,20	3,30	3,72	3,81	3,30
3	35	30	100	C24	24,91	182,48	36,50	3,44	3,89	3,93	3,44
3	35	40	110	C24	29,49	205,94	41,19	3,73	4,23	4,17	3,73
3	35	45	115	C24	31,83	217,87	43,57	3,87	4,40	4,28	3,87
3	40	20	100	C24	25,40	176,36	35,27	3,49	3,94	3,95	3,49
3	40	25	105	C24	27,84	187,41	37,48	3,64	4,12	4,08	3,64
3	40	30	110	C24	30,35	198,70	39,74	3,78	4,30	4,20	3,78
3	40	35	115	C24	32,90	210,20	42,04	3,93	4,47	4,32	3,93
3	40	45	125	C24	38,13	233,66	46,73	4,21	4,82	4,54	4,21
3	45	25	115	C24	33,51	203,89	40,78	3,98	4,53	4,34	3,98
3	45	30	120	C24	36,29	215,04	43,01	4,12	4,70	4,46	4,12
3	45	35	125	C24	39,12	226,40	45,28	4,26	4,88	4,57	4,26
3	45	40	130	C24	42,00	237,93	47,59	4,40	5,05	4,68	4,40

Tabell B 3

n	t <sub>i</sub> [mm]	t <sub>j</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet, längs	Kvalitet, tvärs	M <sub>R,d</sub> [kNm]	V <sub>v,r,d</sub> [kN]	V <sub>v,r,d</sub> [kN]	V <sub>v,r,d</sub> [kN]	L <sub>max,sd</sub> [m]	L <sub>max,P</sub> [m]	L <sub>max,f</sub> [m]	L <sub>dim</sub> [m]
3	10	15	35	C24	C14	2,89	50,56	13,48	1,22	1,33	1,86	1,22	
3	10	20	40	C24	C14	3,58	59,73	15,93	1,37	1,49	2,03	1,37	
3	10	25	45	C24	C14	4,30	69,03	18,41	1,50	1,64	2,18	1,50	
3	10	30	50	C24	C14	5,02	78,40	20,91	1,64	1,79	2,31	1,64	
3	15	10	40	C24	C14	4,03	53,76	14,34	1,44	1,57	2,08	1,44	
3	15	20	50	C24	C14	5,99	71,31	19,02	1,74	1,91	2,42	1,74	
3	15	25	55	C24	C14	7,02	80,40	21,44	1,89	2,07	2,56	1,89	
3	15	30	60	C24	C14	8,06	89,60	23,89	2,03	2,23	2,70	2,03	
3	15	35	65	C24	C14	9,13	98,88	26,37	2,16	2,39	2,84	2,16	
3	20	10	50	C24	C14	6,35	66,13	17,64	1,79	1,97	2,45	1,79	
3	20	15	55	C24	C14	7,59	74,51	19,87	1,95	2,15	2,61	1,95	
3	20	25	65	C24	C14	10,20	92,09	24,56	2,25	2,49	2,91	2,25	
3	20	30	70	C24	C14	11,56	101,12	26,97	2,40	2,66	3,05	2,40	
3	20	35	75	C24	C14	12,94	110,25	29,40	2,54	2,82	3,18	2,54	
3	20	40	80	C24	C14	14,34	119,47	31,86	2,67	2,98	3,30	2,67	
3	25	10	60	C24	C14	9,17	78,63	20,97	2,15	2,38	2,78	2,15	
3	25	15	65	C24	C14	10,68	86,80	23,15	2,31	2,55	2,94	2,31	
3	25	20	70	C24	C14	12,25	95,29	25,41	2,46	2,73	3,09	2,46	
3	25	30	80	C24	C14	15,52	112,87	30,10	2,76	3,07	3,37	2,76	
3	25	35	85	C24	C14	17,20	121,87	32,50	2,90	3,24	3,50	2,90	
3	25	40	90	C24	C14	18,92	130,95	34,92	3,04	3,40	3,62	3,04	
3	25	45	95	C24	C14	20,65	140,11	37,36	3,18	3,57	3,74	3,18	
3	30	10	70	C24	C14	12,51	91,20	24,32	2,50	2,78	3,10	2,50	
3	30	15	75	C24	C14	14,28	99,20	26,45	2,66	2,96	3,25	2,66	
3	30	20	80	C24	C14	16,13	107,52	28,67	2,81	3,14	3,39	2,81	
3	30	25	85	C24	C14	18,03	116,07	30,95	2,96	3,31	3,53	2,96	



3	30	35	95	C24	C14	21,95	133,66	35,64	3,25	3,65	3,79	3,25
3	30	40	100	C24	C14	23,96	142,63	38,03	3,39	3,82	3,91	3,39
3	30	45	105	C24	C14	26,00	151,68	40,45	3,53	3,99	4,03	3,53
3	35	15	85	C24	C14	18,39	111,68	29,78	3,00	3,36	3,55	3,00
3	35	20	90	C24	C14	20,51	119,85	31,96	3,16	3,54	3,68	3,16
3	35	25	95	C24	C14	22,68	128,27	34,20	3,31	3,72	3,82	3,31
3	35	30	100	C24	C14	24,91	136,86	36,50	3,45	3,89	3,95	3,45
3	35	40	110	C24	C14	29,49	154,45	41,19	3,74	4,23	4,19	3,74
3	35	45	115	C24	C14	31,83	163,40	43,57	3,88	4,40	4,31	3,88
3	40	20	100	C24	C14	25,40	132,27	35,27	3,50	3,94	3,96	3,50
3	40	25	105	C24	C14	27,84	140,55	37,48	3,65	4,12	4,09	3,65
3	40	30	110	C24	C14	30,35	149,03	39,74	3,79	4,30	4,21	3,79
3	40	35	115	C24	C14	32,90	157,65	42,04	3,94	4,47	4,34	3,94
3	40	45	125	C24	C14	38,13	175,25	46,73	4,22	4,82	4,57	4,22
3	45	25	115	C24	C14	33,51	152,91	40,78	3,98	4,53	4,35	3,98
3	45	30	120	C24	C14	36,29	161,28	43,01	4,13	4,70	4,47	4,13
3	45	35	125	C24	C14	39,12	169,80	45,28	4,28	4,88	4,59	4,28
3	45	40	130	C24	C14	42,00	178,45	47,59	4,42	5,05	4,71	4,42

Tabell B 4

n	t <sub>1</sub> [mm]	t <sub>2</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet	M <sub>R,d</sub> [kNm]	V <sub>v,t,d</sub> [kN]	V <sub>v,r,d</sub> [kN]	L <sub>max,q</sub> [m]	L <sub>max,p</sub> [m]	L <sub>max,f</sub> [m]	L <sub>dim</sub> [m]
5	10	10	50	C24	5,07	99,39	21,12	1,66	1,82	2,31	1,66
5	10	10	50	C14	2,96	74,54	21,12	1,43	1,57	2,33	1,43
5	15	15	75	C24	11,40	149,08	31,68	2,45	2,73	3,07	2,45
5	15	15	75	C14	6,65	111,81	31,68	2,13	2,36	3,10	2,13
5	20	20	100	C24	20,28	198,78	42,24	3,22	3,64	3,73	3,22
5	20	20	100	C14	11,83	149,08	42,24	2,80	3,14	3,78	2,80
5	25	25	125	C24	31,68	248,47	52,80	3,98	4,55	4,34	3,98
5	25	25	125	C14	18,48	186,35	52,80	3,47	3,93	4,40	3,47
5	30	30	150	C24	45,62	298,16	63,36	4,71	5,46	4,89	4,71
5	30	30	150	C14	26,61	223,62	63,36	4,12	4,71	4,97	4,12
5	35	35	175	C24	62,09	347,86	73,92	5,43	6,37	5,41	5,41
5	35	35	175	C14	36,22	260,89	73,92	4,75	5,50	5,51	4,75
5	40	40	200	C24	81,10	397,55	84,48	6,14	7,28	5,89	5,89
5	40	40	200	C14	47,31	298,16	84,48	5,38	6,28	6,01	5,38
5	45	45	225	C24	102,64	447,25	95,04	6,83	8,19	6,35	6,35
5	45	45	225	C14	59,88	335,44	95,04	5,99	7,07	6,48	5,99

Tabell B 5

n	t <sub>i</sub> [mm]	t <sub>j</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet	M <sub>R,d</sub> [kNm]	V <sub>v1,d</sub> [kN]	V <sub>v15,d</sub> [kN]	V <sub>rv15,d</sub> [kN]	L <sub>max,q</sub> [m]	L <sub>max,p</sub> [m]	L <sub>max,f</sub> [m]	L <sub>dim</sub> [m]
5	10	15	60	C24	6,53	124,34	26,11	1,90	2,10	2,55	1,90	1,90
5	10	20	70	C24	8,01	149,50	31,15	2,12	2,36	2,77	2,12	2,12
5	10	25	80	C24	9,50	174,79	36,21	2,34	2,61	2,97	2,34	2,34
5	10	30	90	C24	11,01	200,15	41,28	2,54	2,85	3,15	2,54	2,54
5	15	10	65	C24	9,26	124,43	26,75	2,20	2,44	2,83	2,20	2,20
5	15	20	85	C24	13,59	173,99	36,66	2,69	3,01	3,28	2,69	2,69
5	15	25	95	C24	15,79	199,07	41,68	2,91	3,28	3,48	2,91	2,91
5	15	30	105	C24	18,02	224,26	46,72	3,13	3,54	3,66	3,13	3,13
5	15	35	115	C24	20,26	249,52	51,78	3,33	3,80	3,83	3,33	3,33
5	20	10	80	C24	14,59	149,66	32,43	2,73	3,05	3,30	2,73	2,73
5	20	15	90	C24	17,41	174,08	37,30	2,98	3,35	3,53	2,98	2,98
5	20	25	110	C24	23,18	223,66	47,22	3,45	3,92	3,93	3,45	3,45
5	20	30	120	C24	26,11	248,69	52,22	3,68	4,20	4,10	3,68	3,68
5	20	35	130	C24	29,07	273,81	57,25	3,89	4,46	4,27	3,89	3,89
5	20	40	140	C24	32,04	299,01	62,29	4,10	4,72	4,43	4,10	4,10
5	25	10	95	C24	21,07	175,00	38,13	3,25	3,66	3,74	3,25	3,25
5	25	15	105	C24	24,55	199,23	42,96	3,50	3,96	3,95	3,50	3,50
5	25	20	115	C24	28,09	223,75	47,86	3,74	4,26	4,15	3,74	3,74
5	25	30	135	C24	35,31	273,34	57,77	4,20	4,84	4,51	4,20	4,20
5	25	35	145	C24	38,96	298,33	62,77	4,42	5,11	4,68	4,42	4,42
5	25	40	155	C24	42,64	323,41	67,79	4,63	5,38	4,83	4,63	4,63
5	25	45	165	C24	46,34	348,55	72,82	4,84	5,65	4,98	4,84	4,84
5	30	10	110	C24	28,70	200,41	43,84	3,76	4,26	4,14	3,76	3,76
5	30	15	120	C24	32,83	224,49	48,64	4,01	4,57	4,35	4,01	4,01
5	30	20	130	C24	37,04	248,86	53,50	4,25	4,88	4,54	4,25	4,25

5	30	25	140	C24	41,31	273,43	58,41	4,49	5,17	4,72	4,49
5	30	35	160	C24	49,97	323,03	68,33	4,93	5,75	5,05	4,93
5	30	40	170	C24	54,35	347,99	73,33	5,15	6,02	5,21	5,15
5	30	45	180	C24	58,75	373,03	78,34	5,35	6,30	5,36	5,35
5	35	15	135	C24	42,26	249,82	54,34	4,51	5,18	4,72	4,51
5	35	20	145	C24	47,13	274,05	59,17	4,75	5,49	4,91	4,75
5	35	25	155	C24	52,07	298,50	64,05	4,98	5,79	5,08	4,98
5	35	30	165	C24	57,06	323,11	68,97	5,21	6,08	5,25	5,21
5	35	40	185	C24	67,16	372,71	78,89	5,65	6,66	5,56	5,56
5	35	45	195	C24	72,27	397,65	83,88	5,86	6,94	5,70	5,70
5	40	20	160	C24	58,37	299,32	64,85	5,24	6,10	5,25	5,24
5	40	25	170	C24	63,97	323,66	69,71	5,47	6,40	5,42	5,42
5	40	30	180	C24	69,63	348,16	74,61	5,70	6,70	5,59	5,59
5	40	35	190	C24	75,34	372,80	79,53	5,92	6,99	5,74	5,74
5	40	45	210	C24	86,89	422,40	89,45	6,35	7,57	6,03	6,03
5	45	25	185	C24	77,01	348,88	75,38	5,96	7,01	5,75	5,75
5	45	30	195	C24	83,34	373,28	80,26	6,18	7,32	5,91	5,91
5	45	35	205	C24	89,73	397,83	85,16	6,40	7,61	6,06	6,06
5	45	40	215	C24	96,17	422,49	90,09	6,62	7,90	6,21	6,21

Tabell B 6

n	t <sub>1</sub> [mm]	t <sub>2</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet, längs	Kvalitet, tvärs	M <sub>R,d</sub> [kNm]	V <sub>v,y,d</sub> [kN]	V <sub>v,y,d</sub> [kN]	V <sub>v,y,d</sub> [kN]	L <sub>max,sq</sub> [m]	L <sub>max,p</sub> [m]	L <sub>max,f</sub> [m]	L <sub>dlm</sub> [m]
5	10	15	60	C24	C14	6,53	93,26	26,11	1,90	2,10	2,56	1,90	
5	10	20	70	C24	C14	8,01	112,13	31,15	2,13	2,36	2,79	2,13	
5	10	25	80	C24	C14	9,50	131,09	36,21	2,35	2,61	2,99	2,35	
5	10	30	90	C24	C14	11,01	150,11	41,28	2,55	2,85	3,17	2,55	
5	15	10	65	C24	C14	9,26	93,32	26,75	2,20	2,44	2,84	2,20	
5	15	20	85	C24	C14	13,59	130,49	36,66	2,70	3,01	3,30	2,70	
5	15	25	95	C24	C14	15,79	149,30	41,68	2,93	3,28	3,50	2,93	
5	15	30	105	C24	C14	18,02	168,19	46,72	3,14	3,54	3,68	3,14	
5	15	35	115	C24	C14	20,26	187,14	51,78	3,35	3,80	3,86	3,35	
5	20	10	80	C24	C14	14,59	112,25	32,43	2,73	3,05	3,31	2,73	
5	20	15	90	C24	C14	17,41	130,56	37,30	2,99	3,35	3,54	2,99	
5	20	25	110	C24	C14	23,18	167,75	47,22	3,47	3,92	3,95	3,47	
5	20	30	120	C24	C14	26,11	186,51	52,22	3,70	4,20	4,13	3,70	
5	20	35	130	C24	C14	29,07	205,36	57,25	3,91	4,46	4,31	3,91	
5	20	40	140	C24	C14	32,04	224,26	62,29	4,12	4,72	4,47	4,12	
5	25	10	95	C24	C14	21,07	131,25	38,13	3,25	3,66	3,75	3,25	
5	25	15	105	C24	C14	24,55	149,43	42,96	3,51	3,96	3,97	3,51	
5	25	20	115	C24	C14	28,09	167,81	47,86	3,76	4,26	4,17	3,76	
5	25	30	135	C24	C14	35,31	205,01	57,77	4,22	4,84	4,54	4,22	
5	25	35	145	C24	C14	38,96	223,75	62,77	4,45	5,11	4,71	4,45	
5	25	40	155	C24	C14	42,64	242,55	67,79	4,66	5,38	4,88	4,66	
5	25	45	165	C24	C14	46,34	261,42	72,82	4,87	5,65	5,03	4,87	
5	30	10	110	C24	C14	28,70	150,31	43,84	3,76	4,26	4,15	3,76	
5	30	15	120	C24	C14	32,83	168,37	48,64	4,02	4,57	4,36	4,02	

5	30	20	130	C24	C14	37,04	186,64	53,50	4,26	4,88	4,56	4,26
5	30	25	140	C24	C14	41,31	205,07	58,41	4,50	5,17	4,75	4,50
5	30	35	160	C24	C14	49,97	242,27	68,33	4,96	5,75	5,09	4,96
5	30	40	170	C24	C14	54,35	260,99	73,33	5,18	6,02	5,25	5,18
5	30	45	180	C24	C14	58,75	279,77	78,34	5,39	6,30	5,40	5,39
5	35	15	135	C24	C14	42,26	187,37	54,34	4,52	5,18	4,74	4,52
5	35	20	145	C24	C14	47,13	205,54	59,17	4,76	5,49	4,93	4,76
5	35	25	155	C24	C14	52,07	223,88	64,05	5,00	5,79	5,11	5,00
5	35	30	165	C24	C14	57,06	242,34	68,97	5,24	6,08	5,28	5,24
5	35	40	185	C24	C14	67,16	279,53	78,89	5,68	6,66	5,60	5,60
5	35	45	195	C24	C14	72,27	298,24	83,88	5,90	6,94	5,75	5,75
5	40	20	160	C24	C14	58,37	224,49	64,85	5,26	6,10	5,28	5,26
5	40	25	170	C24	C14	63,97	242,74	69,71	5,50	6,40	5,45	5,45
5	40	30	180	C24	C14	69,63	261,12	74,61	5,73	6,70	5,62	5,62
5	40	35	190	C24	C14	75,34	279,60	79,53	5,95	6,99	5,78	5,78
5	40	45	210	C24	C14	86,89	316,80	89,45	6,39	7,57	6,08	6,08
5	45	25	185	C24	C14	77,01	261,66	75,38	5,98	7,01	5,78	5,78
5	45	30	195	C24	C14	83,34	279,96	80,26	6,21	7,32	5,94	5,94
5	45	35	205	C24	C14	89,73	298,37	85,16	6,44	7,61	6,10	6,10
5	45	40	215	C24	C14	96,17	316,87	90,09	6,66	7,90	6,25	6,25

Tabell B 7

n	t <sub>i</sub> [mm]	t <sub>j</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet	M <sub>R,d</sub> [kNm]	V <sub>v,t,d</sub> [kN]	V <sub>v,t,d</sub> [kN]	V <sub>v,t,d</sub> [kN]	L <sub>max</sub> [m]	L <sub>max,p</sub> [m]	L <sub>max,f</sub> [m]	L <sub>dim</sub> [m]
7	10	10	70	C24	8,92	130,13	26,03	2,21	2,46	2,85	2,21	2,21
7	10	10	70	C14	5,21	97,60	26,03	1,92	2,12	2,57	1,92	1,92
7	15	15	105	C24	20,08	195,20	39,04	3,26	3,69	3,76	3,26	3,26
7	15	15	105	C14	11,71	146,40	39,04	2,84	3,19	3,40	2,84	2,84
7	20	20	140	C24	35,69	260,27	52,05	4,27	4,93	4,55	4,27	4,27
7	20	20	140	C14	20,82	195,20	52,05	3,73	4,25	4,13	3,73	3,73
7	25	25	175	C24	55,77	325,33	65,07	5,25	6,16	5,26	5,25	5,25
7	25	25	175	C14	32,53	244,00	65,07	4,59	5,31	4,79	4,59	4,59
7	30	30	210	C24	80,31	390,40	78,08	6,20	7,39	5,92	5,92	5,92
7	30	30	210	C14	46,85	292,80	78,08	5,44	6,37	5,39	5,39	5,39
7	35	35	245	C24	109,31	455,47	91,09	7,12	8,62	6,52	6,52	6,52
7	35	35	245	C14	63,77	341,60	91,09	6,26	7,44	5,95	5,95	5,95
7	40	40	280	C24	142,77	520,53	104,11	8,02	9,85	7,08	7,08	7,08
7	40	40	280	C14	83,29	390,40	104,11	7,06	8,50	6,47	6,47	6,47
7	45	45	315	C24	180,70	585,60	117,12	8,89	11,08	7,61	7,61	7,61
7	45	45	315	C14	105,41	439,20	117,12	7,84	9,56	6,97	6,97	6,97

Tabell B 8

n	t <sub>i</sub> [mm]	t <sub>j</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet	M <sub>R,d</sub> [kNm]	V <sub>v,r,d</sub> [kN]	V <sub>v,r,d</sub> [kN]	M <sub>R,d</sub> [kNm]	V <sub>v,r,d</sub> [kN]	L <sub>max</sub> [m]	L <sub>max,P</sub> [m]	L <sub>max,f</sub> [m]	L <sub>dim</sub> [m]
7	10	15	85	C24	11,41	161,71	32,34	2,54	2,85	3,14	2,85	3,14	2,54
7	10	20	100	C24	13,93	193,42	38,68	2,84	3,21	3,40	3,21	3,40	2,84
7	10	25	115	C24	16,45	225,22	45,04	3,12	3,55	3,63	3,55	3,63	3,12
7	10	30	130	C24	18,98	257,07	51,41	3,38	3,88	3,84	3,88	3,84	3,38
7	15	10	90	C24	16,38	163,84	32,77	2,93	3,29	3,47	3,29	3,47	2,93
7	15	20	120	C24	23,81	226,74	45,35	3,57	4,08	4,01	4,08	4,01	3,57
7	15	25	135	C24	27,56	258,40	51,68	3,87	4,45	4,24	4,45	4,24	3,87
7	15	30	150	C24	31,33	290,13	58,03	4,15	4,81	4,45	4,81	4,45	4,15
7	15	35	165	C24	35,12	321,92	64,38	4,41	5,15	4,65	5,15	4,65	4,41
7	20	10	110	C24	25,88	197,69	39,54	3,62	4,11	4,04	4,11	4,04	3,62
7	20	15	125	C24	30,76	228,88	45,78	3,95	4,52	4,31	4,52	4,31	3,95
7	20	25	155	C24	40,66	291,79	58,36	4,57	5,31	4,78	5,31	4,78	4,57
7	20	30	170	C24	45,66	323,41	64,68	4,86	5,69	4,99	5,69	4,99	4,86
7	20	35	185	C24	50,67	355,10	71,02	5,14	6,06	5,18	6,06	5,18	5,14
7	20	40	200	C24	55,71	386,84	77,37	5,40	6,41	5,36	6,41	5,36	5,40
7	25	10	130	C24	37,42	231,62	46,32	4,29	4,92	4,55	4,92	4,55	4,29
7	25	15	145	C24	43,48	262,67	52,53	4,63	5,35	4,81	5,35	4,81	4,63
7	25	20	160	C24	49,60	293,93	58,79	4,94	5,76	5,04	5,76	5,04	4,94
7	25	30	190	C24	61,98	356,85	71,37	5,54	6,55	5,47	6,55	5,47	5,54
7	25	35	205	C24	68,21	388,44	77,69	5,82	6,93	5,66	6,93	5,66	5,82
7	25	40	220	C24	74,47	420,10	84,02	6,09	7,30	5,84	7,30	5,84	6,09
7	25	45	235	C24	80,75	451,81	90,36	6,35	7,66	6,01	7,66	6,01	6,35
7	30	10	150	C24	51,00	265,60	53,12	4,95	5,73	5,03	5,73	5,03	4,95
7	30	15	165	C24	58,23	296,53	59,31	5,28	6,16	5,28	6,16	5,28	5,28
7	30	20	180	C24	65,54	327,68	65,54	5,60	6,58	5,50	6,58	5,50	5,60



7	30	25	195	C24	72,90	358,98	71,80	5,91	6,99	5,72	5,72
7	30	35	225	C24	87,76	421,91	84,38	6,48	7,78	6,10	6,10
7	30	40	240	C24	95,23	453,49	90,70	6,76	8,16	6,28	6,28
7	30	45	255	C24	102,73	485,12	97,02	7,02	8,54	6,45	6,45
7	35	15	185	C24	75,02	330,45	66,09	5,92	6,97	5,71	5,71
7	35	20	200	C24	83,51	361,50	72,30	6,24	7,40	5,93	5,93
7	35	25	215	C24	92,06	392,71	78,54	6,55	7,82	6,14	6,14
7	35	30	230	C24	100,66	424,04	84,81	6,84	8,22	6,33	6,33
7	35	40	260	C24	118,00	486,97	97,39	7,40	9,01	6,69	6,69
7	35	45	275	C24	126,71	518,53	103,71	7,66	9,40	6,86	6,86
7	40	20	220	C24	103,52	395,38	79,08	6,87	8,22	6,34	6,34
7	40	25	235	C24	113,25	426,50	85,30	7,17	8,64	6,54	6,54
7	40	30	250	C24	123,04	457,75	91,55	7,46	9,05	6,73	6,73
7	40	35	265	C24	132,89	489,10	97,82	7,75	9,45	6,91	6,91
7	40	45	295	C24	152,70	552,03	110,41	8,29	10,24	7,24	7,24
7	45	25	255	C24	136,48	460,34	92,07	7,78	9,45	6,92	6,92
7	45	30	270	C24	147,46	491,52	98,30	8,07	9,87	7,11	7,11
7	45	35	285	C24	158,49	522,80	104,56	8,36	10,28	7,28	7,28
7	45	40	300	C24	169,57	554,16	110,83	8,63	10,69	7,45	7,45

Tabell B 9

n	t <sub>i</sub> [mm]	t <sub>j</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet, längs	Kvalitet, tvärs	M <sub>R,d</sub> [kNm]	V <sub>v,r,d</sub> [kN]	V <sub>v,r,d</sub> [kN]	V <sub>v,r,d</sub> [kN]	L <sub>max</sub> [m]	L <sub>max,P</sub> [m]	L <sub>max,f</sub> [m]	L <sub>dim</sub> [m]
7	10	15	85	C24	C14	11,41	121,28	32,34	2,55	2,85	3,16	2,55	2,55
7	10	20	100	C24	C14	13,93	145,07	38,68	2,85	3,21	3,42	2,85	2,85
7	10	25	115	C24	C14	16,45	168,91	45,04	3,14	3,55	3,66	3,14	3,14
7	10	30	130	C24	C14	18,98	192,80	51,41	3,40	3,88	3,88	3,40	3,40
7	15	10	90	C24	C14	16,38	122,88	32,77	2,93	3,29	3,49	2,93	2,93
7	15	20	120	C24	C14	23,81	170,06	45,35	3,59	4,08	4,04	3,59	3,59
7	15	25	135	C24	C14	27,56	193,80	51,68	3,89	4,45	4,28	3,89	3,89
7	15	30	150	C24	C14	31,33	217,60	58,03	4,18	4,81	4,50	4,18	4,18
7	15	35	165	C24	C14	35,12	241,44	64,38	4,45	5,15	4,70	4,45	4,45
7	20	10	110	C24	C14	25,88	148,27	39,54	3,63	4,11	4,05	3,63	3,63
7	20	15	125	C24	C14	30,76	171,66	45,78	3,97	4,52	4,33	3,97	3,97
7	20	25	155	C24	C14	40,66	218,84	58,36	4,60	5,31	4,82	4,60	4,60
7	20	30	170	C24	C14	45,66	242,56	64,68	4,90	5,69	5,03	4,90	4,90
7	20	35	185	C24	C14	50,67	266,33	71,02	5,18	6,06	5,24	5,18	5,18
7	20	40	200	C24	C14	55,71	290,13	77,37	5,45	6,41	5,43	5,45	5,45
7	25	10	130	C24	C14	37,42	173,71	46,32	4,30	4,92	4,57	4,30	4,30
7	25	15	145	C24	C14	43,48	197,00	52,53	4,64	5,35	4,83	4,64	4,64
7	25	20	160	C24	C14	49,60	220,44	58,79	4,97	5,76	5,08	4,97	4,97
7	25	30	190	C24	C14	61,98	267,64	71,37	5,58	6,55	5,52	5,58	5,58
7	25	35	205	C24	C14	68,21	291,33	77,69	5,87	6,93	5,72	5,87	5,87
7	25	40	220	C24	C14	74,47	315,08	84,02	6,15	7,30	5,91	6,15	6,15
7	25	45	235	C24	C14	80,75	338,86	90,36	6,42	7,66	6,08	6,42	6,42
7	30	10	150	C24	C14	51,00	199,20	53,12	4,96	5,73	5,05	4,96	4,96
7	30	15	165	C24	C14	58,23	222,40	59,31	5,30	6,16	5,30	5,30	5,30
7	30	20	180	C24	C14	65,54	245,76	65,54	5,63	6,58	5,54	5,63	5,63
7	30	25	195	C24	C14	72,90	269,24	71,80	5,94	6,99	5,76	5,94	5,94
7	30	35	225	C24	C14	87,76	316,43	84,38	6,53	7,78	6,16	6,53	6,53

7	30	40	240	C24	C14		95,23	340,11	90,70	6,82	8,16	6,35	6,82
7	30	45	255	C24	C14		102,73	363,84	97,02	7,09	8,54	6,52	7,09
7	35	15	185	C24	C14		75,02	247,84	66,09	5,94	6,97	5,74	5,94
7	35	20	200	C24	C14		83,51	271,13	72,30	6,27	7,40	5,97	6,27
7	35	25	215	C24	C14		92,06	294,53	78,54	6,58	7,82	6,18	6,58
7	35	30	230	C24	C14		100,66	318,03	84,81	6,88	8,22	6,39	6,88
7	35	40	260	C24	C14		118,00	365,23	97,39	7,46	9,01	6,76	7,46
7	35	45	275	C24	C14		126,71	388,90	103,71	7,73	9,40	6,93	7,73
7	40	20	220	C24	C14		103,52	296,53	79,08	6,90	8,22	6,38	6,90
7	40	25	235	C24	C14		113,25	319,88	85,30	7,21	8,64	6,59	7,21
7	40	30	250	C24	C14		123,04	343,31	91,55	7,51	9,05	6,78	7,51
7	40	35	265	C24	C14		132,89	366,83	97,82	7,80	9,45	6,97	7,80
7	40	45	295	C24	C14		152,70	414,02	110,41	8,36	10,24	7,32	8,36
7	45	25	255	C24	C14		136,48	345,26	92,07	7,83	9,45	6,97	7,83
7	45	30	270	C24	C14		147,46	368,64	98,30	8,13	9,87	7,16	8,13
7	45	35	285	C24	C14		158,49	392,10	104,56	8,42	10,28	7,34	8,42
7	45	40	300	C24	C14		169,57	415,62	110,83	8,70	10,69	7,52	8,70

Tabell B 10

n	t <sub>i</sub> [mm]	t <sub>j</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet	L [m]	N <sub>c,r,d</sub> [kN]	V <sub>xy,r,d</sub> [kN]	V <sub>ys,r,d</sub> [kN]	N <sub>dmax</sub> [kN]
3	10	10	30	C24	3	10,91	51,20	25,60	9,51
3	10	10	30	C14	3	6,94	38,40	19,20	5,98
3	15	15	45	C24	3	35,99	76,80	38,40	29,59
3	15	15	45	C14	3	22,92	57,60	28,80	18,54
3	20	20	60	C24	3	82,91	102,40	51,20	64,76
3	20	20	60	C14	3	52,88	76,80	38,40	40,47
3	25	25	75	C24	3	156,58	128,00	64,00	116,96
3	25	25	75	C14	3	100,05	96,00	48,00	72,97
3	30	30	90	C24	3	260,21	153,60	76,80	187,07
3	30	30	90	C14	3	166,77	115,20	57,60	116,66
3	35	35	105	C24	3	394,93	179,20	89,60	275,04
3	35	35	105	C14	3	254,31	134,40	67,20	171,69
3	40	40	120	C24	3	559,03	204,80	102,40	379,66
3	40	40	120	C14	3	362,71	153,60	76,80	237,77
3	45	45	135	C24	3	746,70	230,40	115,20	498,27
3	45	45	135	C14	3	490,33	172,80	86,40	314,06

Tabell B 11

n	t <sub>i</sub> [mm]	t <sub>j</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet	L [m]	N <sub>cr,d</sub> [kN]	V <sub>xy,r,d</sub> [kN]	V <sub>yx,r,d</sub> [kN]	N <sub>dmax</sub> [kN]
3	10	15	35	C24	3	16,41	51,20	38,40	14,02
3	10	20	40	C24	3	23,02	51,20	51,20	19,30
3	10	25	45	C24	3	30,70	51,20	64,00	25,28
3	10	30	50	C24	3	39,42	51,20	76,80	31,90
3	15	10	40	C24	3	26,17	76,80	25,60	21,91
3	15	20	50	C24	3	47,35	76,80	51,20	38,28
3	15	25	55	C24	3	60,20	76,80	64,00	47,88
3	15	30	60	C24	3	74,45	76,80	76,80	58,30
3	15	35	65	C24	3	90,02	76,80	89,60	69,47
3	20	10	50	C24	3	50,99	102,40	25,60	41,09
3	20	15	55	C24	3	66,00	102,40	38,40	52,34
3	20	25	65	C24	3	101,60	102,40	64,00	78,23
3	20	30	70	C24	3	121,97	102,40	76,80	92,64
3	20	35	75	C24	3	143,89	102,40	89,60	107,89
3	20	40	80	C24	3	167,20	102,40	102,40	123,86
3	25	10	60	C24	3	87,50	128,00	25,60	68,03
3	25	15	65	C24	3	108,44	128,00	38,40	83,12
3	25	20	70	C24	3	131,51	128,00	51,20	99,48
3	25	30	80	C24	3	183,47	128,00	76,80	135,44
3	25	35	85	C24	3	212,01	128,00	89,60	154,79
3	25	40	90	C24	3	241,99	128,00	102,40	174,87
3	25	45	95	C24	3	273,16	128,00	115,20	195,55
3	30	10	70	C24	3	137,69	153,60	25,60	103,50
3	30	15	75	C24	3	165,11	153,60	38,40	122,60

3	30	20	80	C24	3	194,81	153,60	51,20	142,99
3	30	25	85	C24	3	226,58	153,60	64,00	164,53
3	30	35	95	C24	3	295,45	153,60	89,60	210,46
3	30	40	100	C24	3	332,03	153,60	102,40	234,53
3	30	45	105	C24	3	369,59	153,60	115,20	259,10
3	35	15	85	C24	3	237,67	179,20	38,40	171,28
3	35	20	90	C24	3	274,22	179,20	51,20	195,72
3	35	25	95	C24	3	312,81	179,20	64,00	221,27
3	35	30	100	C24	3	353,16	179,20	76,80	247,77
3	35	40	110	C24	3	437,74	179,20	102,40	302,86
3	35	45	115	C24	3	481,12	179,20	115,20	331,01
3	40	20	100	C24	3	370,90	204,80	51,20	257,90
3	40	25	105	C24	3	416,16	204,80	64,00	287,32
3	40	30	110	C24	3	462,91	204,80	76,80	317,58
3	40	35	115	C24	3	510,71	204,80	89,60	348,45
3	40	45	125	C24	3	607,25	204,80	115,20	410,94
3	45	25	115	C24	3	537,02	230,40	64,00	362,66
3	45	30	120	C24	3	589,50	230,40	76,80	396,34
3	45	35	125	C24	3	642,41	230,40	89,60	430,39
3	45	40	130	C24	3	695,08	230,40	102,40	464,49

Tabell B 12

n	t <sub>i</sub> [mm]	t <sub>j</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet, längs	Kvalitet, tvärs	L [m]	N <sub>c,r,d</sub> [kN]	V <sub>xy,r,d</sub> [kN]	V <sub>yx,r,d</sub> [kN]	N <sub>dm,ax</sub> [kN]
3	10	15	35	C24	C14	3	16,41	51,20	28,80	14,02
3	10	20	40	C24	C14	3	23,02	51,20	38,40	19,30
3	10	25	45	C24	C14	3	30,70	51,20	48,00	25,28
3	10	30	50	C24	C14	3	39,42	51,20	57,60	31,90
3	15	10	40	C24	C14	3	26,17	76,80	19,20	21,91
3	15	20	50	C24	C14	3	47,35	76,80	38,40	38,28
3	15	25	55	C24	C14	3	60,20	76,80	48,00	47,88
3	15	30	60	C24	C14	3	74,45	76,80	57,60	58,30
3	15	35	65	C24	C14	3	90,02	76,80	67,20	69,47
3	20	10	50	C24	C14	3	50,99	102,40	19,20	41,09
3	20	15	55	C24	C14	3	66,00	102,40	28,80	52,34
3	20	25	65	C24	C14	3	101,60	102,40	48,00	78,23
3	20	30	70	C24	C14	3	121,97	102,40	57,60	92,64
3	20	35	75	C24	C14	3	143,89	102,40	67,20	107,89
3	20	40	80	C24	C14	3	167,20	102,40	76,80	123,86
3	25	10	60	C24	C14	3	87,50	128,00	19,20	68,03
3	25	15	65	C24	C14	3	108,44	128,00	28,80	83,12
3	25	20	70	C24	C14	3	131,51	128,00	38,40	99,48
3	25	30	80	C24	C14	3	183,47	128,00	57,60	135,44
3	25	35	85	C24	C14	3	212,01	128,00	67,20	154,79
3	25	40	90	C24	C14	3	241,99	128,00	76,80	174,87
3	25	45	95	C24	C14	3	273,16	128,00	86,40	195,55
3	30	10	70	C24	C14	3	137,69	153,60	19,20	103,50
3	30	15	75	C24	C14	3	165,11	153,60	28,80	122,60

3	30	20	80	C24	C14	3	194,81	153,60	38,40	142,99
3	30	25	85	C24	C14	3	226,58	153,60	48,00	164,53
3	30	35	95	C24	C14	3	295,45	153,60	67,20	210,46
3	30	40	100	C24	C14	3	332,03	153,60	76,80	234,53
3	30	45	105	C24	C14	3	369,59	153,60	86,40	259,10
3	35	15	85	C24	C14	3	237,67	179,20	28,80	171,28
3	35	20	90	C24	C14	3	274,22	179,20	38,40	195,72
3	35	25	95	C24	C14	3	312,81	179,20	48,00	221,27
3	35	30	100	C24	C14	3	353,16	179,20	57,60	247,77
3	35	40	110	C24	C14	3	437,74	179,20	76,80	302,86
3	35	45	115	C24	C14	3	481,12	179,20	86,40	331,01
3	40	20	100	C24	C14	3	370,90	204,80	38,40	257,90
3	40	25	105	C24	C14	3	416,16	204,80	48,00	287,32
3	40	30	110	C24	C14	3	462,91	204,80	57,60	317,58
3	40	35	115	C24	C14	3	510,71	204,80	67,20	348,45
3	40	45	125	C24	C14	3	607,25	204,80	86,40	410,94
3	45	25	115	C24	C14	3	537,02	230,40	48,00	362,66
3	45	30	120	C24	C14	3	589,50	230,40	57,60	396,34
3	45	35	125	C24	C14	3	642,41	230,40	67,20	430,39
3	45	40	130	C24	C14	3	695,08	230,40	76,80	464,49



Tabell B 13

n	t <sub>i</sub> [mm]	t <sub>j</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet	L [m]	N <sub>cr,d</sub> [kN]	V <sub>xy,r,d</sub> [kN]	V <sub>yx,r,d</sub> [kN]	N <sub>dmax</sub> [kN]
5	10	10	50	C24	3	40,56	76,80	51,20	32,71
5	10	10	50	C14	3	25,84	57,60	38,40	20,47
5	15	15	75	C24	3	130,59	115,20	76,80	97,20
5	15	15	75	C14	3	83,41	86,40	57,60	60,61
5	20	20	100	C24	3	290,51	153,60	102,40	203,17
5	20	20	100	C14	3	186,49	115,20	76,80	126,60
5	25	25	125	C24	3	521,06	192,00	128,00	348,90
5	25	25	125	C14	3	337,98	144,00	96,00	218,24
5	30	30	150	C24	3	801,72	230,40	153,60	524,95
5	30	30	150	C14	3	530,79	172,80	115,20	332,08
5	35	35	175	C24	3	1091,76	268,80	179,20	714,75
5	35	35	175	C14	3	746,28	201,60	134,40	461,20
5	40	40	200	C24	3	1359,53	307,20	204,80	904,60
5	40	40	200	C14	3	960,46	230,40	153,60	596,91
5	45	45	225	C24	3	1602,69	345,60	230,40	1091,43
5	45	45	225	C14	3	1159,42	259,20	172,80	733,39

Tabell B 14

n	t <sub>i</sub> [mm]	t <sub>j</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet	L [m]	N <sub>Gr,d</sub> [kN]	V <sub>Ygr,d</sub> [kN]	V <sub>Yxfr,d</sub> [kN]	N <sub>dmax</sub> [kN]
5	10	15	60	C24	3	61,41	76,80	76,80	47,89
5	10	20	70	C24	3	86,04	76,80	102,40	65,07
5	10	25	80	C24	3	114,02	76,80	128,00	83,84
5	10	30	90	C24	3	144,83	76,80	153,60	103,84
5	15	10	65	C24	3	94,40	115,20	51,20	72,29
5	15	20	85	C24	3	171,40	115,20	102,40	124,34
5	15	25	95	C24	3	216,02	115,20	128,00	153,17
5	15	30	105	C24	3	263,42	115,20	153,60	183,12
5	15	35	115	C24	3	312,22	115,20	179,20	213,51
5	20	10	80	C24	3	179,22	153,60	51,20	130,96
5	20	15	90	C24	3	232,59	153,60	76,80	166,04
5	20	25	110	C24	3	351,61	153,60	128,00	241,65
5	20	30	120	C24	3	414,18	153,60	153,60	280,64
5	20	35	130	C24	3	475,95	153,60	179,20	319,16
5	20	40	140	C24	3	534,14	153,60	204,80	356,05
5	25	10	95	C24	3	300,27	192,00	51,20	210,34
5	25	15	105	C24	3	371,24	192,00	76,80	255,38
5	25	20	115	C24	3	445,53	192,00	102,40	301,89
5	25	30	135	C24	3	595,24	192,00	153,60	395,31
5	25	35	145	C24	3	665,01	192,00	179,20	439,81
5	25	40	155	C24	3	727,20	192,00	204,80	481,08
5	25	45	165	C24	3	779,50	192,00	230,40	518,07
5	30	10	110	C24	3	461,30	230,40	51,20	311,21

5	30	15	120	C24	3	548,41	230,40	76,80	365,34
5	30	20	130	C24	3	636,18	230,40	102,40	419,85
5	30	25	140	C24	3	721,73	230,40	128,00	473,52
5	30	35	160	C24	3	872,89	230,40	179,20	572,74
5	30	40	170	C24	3	932,96	230,40	204,80	615,82
5	30	45	180	C24	3	981,38	230,40	230,40	653,77
5	35	15	135	C24	3	762,98	268,80	76,80	494,92
5	35	20	145	C24	3	858,68	268,80	102,40	555,22
5	35	25	155	C24	3	947,33	268,80	128,00	612,84
5	35	30	165	C24	3	1025,71	268,80	153,60	666,35
5	35	40	185	C24	3	1145,20	268,80	204,80	757,65
5	35	45	195	C24	3	1187,34	268,80	230,40	795,32
5	40	20	160	C24	3	1104,77	307,20	102,40	704,65
5	40	25	170	C24	3	1188,19	307,20	128,00	763,02
5	40	30	180	C24	3	1258,08	307,20	153,60	815,86
5	40	35	190	C24	3	1314,66	307,20	179,20	862,95
5	40	45	210	C24	3	1394,87	307,20	230,40	941,48
5	45	25	185	C24	3	1433,74	345,60	128,00	919,94
5	45	30	195	C24	3	1491,31	345,60	153,60	970,39
5	45	35	205	C24	3	1537,16	345,60	179,20	1015,34
5	45	40	215	C24	3	1573,58	345,60	204,80	1055,46

Tabell B 15

n	t <sub>1</sub> [mm]	t <sub>2</sub> [mm]	t <sub>3</sub> [mm]	h [mm]	Kvalitet, längs	Kvalitet, tvärs	L [m]	N <sub>cr,d</sub> [kN]	V <sub>xy,d</sub> [kN]	V <sub>yx,d</sub> [kN]	N <sub>td,max</sub> [kN]
5	10	15	60	C24	C14	3	61,41	76,80	57,60	47,89	
5	10	20	70	C24	C14	3	86,04	76,80	76,80	65,07	
5	10	25	80	C24	C14	3	114,02	76,80	96,00	83,84	
5	10	30	90	C24	C14	3	144,83	76,80	115,20	103,84	
5	15	10	65	C24	C14	3	94,40	115,20	38,40	72,29	
5	15	20	85	C24	C14	3	171,40	115,20	76,80	124,34	
5	15	25	95	C24	C14	3	216,02	115,20	96,00	153,17	
5	15	30	105	C24	C14	3	263,42	115,20	115,20	183,12	
5	15	35	115	C24	C14	3	312,22	115,20	134,40	213,51	
5	20	10	80	C24	C14	3	179,22	153,60	38,40	130,96	
5	20	15	90	C24	C14	3	232,59	153,60	57,60	166,04	
5	20	25	110	C24	C14	3	351,61	153,60	96,00	241,65	
5	20	30	120	C24	C14	3	414,18	153,60	115,20	280,64	
5	20	35	130	C24	C14	3	475,95	153,60	134,40	319,16	
5	20	40	140	C24	C14	3	534,14	153,60	153,60	356,05	
5	25	10	95	C24	C14	3	300,27	192,00	38,40	210,34	
5	25	15	105	C24	C14	3	371,24	192,00	57,60	255,38	
5	25	20	115	C24	C14	3	445,53	192,00	76,80	301,89	
5	25	30	135	C24	C14	3	595,24	192,00	115,20	395,31	
5	25	35	145	C24	C14	3	665,01	192,00	134,40	439,81	
5	25	40	155	C24	C14	3	727,20	192,00	153,60	481,08	
5	25	45	165	C24	C14	3	779,50	192,00	172,80	518,07	
5	30	10	110	C24	C14	3	461,30	230,40	38,40	311,21	
5	30	15	120	C24	C14	3	548,41	230,40	57,60	365,34	

5	30	20	130	C24	C14	3	636,18	230,40	76,80	419,85
5	30	25	140	C24	C14	3	721,73	230,40	96,00	473,52
5	30	35	160	C24	C14	3	872,89	230,40	134,40	572,74
5	30	40	170	C24	C14	3	932,96	230,40	153,60	615,82
5	30	45	180	C24	C14	3	981,38	230,40	172,80	653,77
5	35	15	135	C24	C14	3	762,98	268,80	57,60	494,92
5	35	20	145	C24	C14	3	858,68	268,80	76,80	555,22
5	35	25	155	C24	C14	3	947,33	268,80	96,00	612,84
5	35	30	165	C24	C14	3	1025,71	268,80	115,20	666,35
5	35	40	185	C24	C14	3	1145,20	268,80	153,60	757,65
5	35	45	195	C24	C14	3	1187,34	268,80	172,80	795,32
5	40	20	160	C24	C14	3	1104,77	307,20	76,80	704,65
5	40	25	170	C24	C14	3	1188,19	307,20	96,00	763,02
5	40	30	180	C24	C14	3	1258,08	307,20	115,20	815,86
5	40	35	190	C24	C14	3	1314,66	307,20	134,40	862,95
5	40	45	210	C24	C14	3	1394,87	307,20	172,80	941,48
5	45	25	185	C24	C14	3	1433,74	345,60	96,00	919,94
5	45	30	195	C24	C14	3	1491,31	345,60	115,20	970,39
5	45	35	205	C24	C14	3	1537,16	345,60	134,40	1015,34
5	45	40	215	C24	C14	3	1573,58	345,60	153,60	1055,46



## Appendix C

```
clc
clear window

[n, m]=size(OptimeringexjobbS2); %Hittar antal spännvidder att beräkna

losn=zeros(n, (m-1)); %Tom matris där lösningar till polynom sparas

for i=1:n
    losn(i,:)=roots(OptimeringexjobbS2(i,:)); %sparar samtliga rötter i tom
    lösningmatrix
end
losn
```