



CHALMERS



Korslimmat trä som konstruktionsmaterial En teknisk jämförelse och lämpliga användningsområden

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

MATHILDA LUNDBLAD
LINNEA STJÄRNBORG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Examensarbete ACEx20-18-23
Göteborg, Sverige 2018

EXAMENSARBETE ACEX20-18-23

Korslimmat trä som konstruktionsmaterial

En teknisk jämförelse och lämpliga användningsområden

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

MATHILDA LUNDBLAD

LINNEA STJÄRNBORG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2018

Korslimmat trä som konstruktionsmaterial

En teknisk jämförelse och lämpliga användningsområden

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

MATHILDA LUNDBLAD

LINNEA STJÄRNBORG

© MATHILDA LUNDBLAD, LINNEA STJÄRNBORG 2018

Examensarbete ACEX20-18-23

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2018

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Korslimmat träbjälklag i JSP2, "A Working Lab" (Byggdialog, 2018).

Korslimmat trä som konstruktionsmaterial

En teknisk jämförelse och lämpliga användningsområden

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Samhällsbyggnadsteknik

MATHILDA LUNDBLAD

LINNEA STJÄRNBORG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Trä är ett konstruktionsmaterial som skiljer sig från andra material då det är förnyelsebart och har liten miljöpåverkan vid tillverkning. Utvecklingen av träbyggnationer i Sverige går långsamt framåt vilket missgynnar en hållbar framtid. Det krävs vision och vilja till att använda utarbetade metoder inom träbyggnation för att kunna bidra till en samhällsutveckling som är mer hållbar. En framgångsrik metod som används i delar av Europa är korslimmat trä (KL-trä), men denna metod saknar fortfarande plats på Sveriges byggmarknad.

I detta examensarbete utreds svårigheterna och begränsningarna med att bygga med KL-trä och varför utvecklingen går långsamt i Sverige. Syftet är också att påvisa att trä som material genererar mindre koldioxidutsläpp gentemot stål och betong. En teknisk jämförelse av dessa material utförs också för att skapa förståelse för skillnader och likheter. Studien har framförts med hjälp av en litteraturstudie och en fallstudie som baserats på livscykelanalyser, granskning av ritningar och handlingar samt intervjuer. Undersökningen för fallstudien tar inte hänsyn till kostnader och byggnadskonstruktioner begränsas till kontor och flerbostadshus där främst bjälklag studeras.

Efter utredning i fallstudien kan det konstateras att trä är det mest miljövänliga materialet och att KL-trä är en metod som kan tillämpas i större utsträckning på byggnader i Sverige. Metoden kräver vissa tekniska lösningar för att uppfylla ljudkrav och avseende brand och fukt behövs säkerhetsåtgärder utföras. Fler krav som skapar problem vid dimensionering i KL-trä är totalhöjd, då bjälklagen bygger mer på höjden. Förutom att KL-trä genererar minst koldioxidutsläpp är det en produkt som är lätthanterlig och flexibel vid byggplatsen, har hög prefabriceringsgrad och ger kort byggtid. För att metoden skall utvecklas på svenska marknaden behöver utbudet bli större, detta för att det ska bli mer ekonomiskt fördelaktigt för företag att välja produkten. Krav och planbestämmelser kan också behöva ses över för att förenkla projekteringen i trä. KL-trä som metod hade på så sätt gynnats och i sin tur hade en grön framtid blivit lättare att uppnå.

Nyckelord: Trä, betong, stål, KL-trä, hållbarhet, livscykelanalys, byggregler, förutsättningar vid dimensionering, användningsområden

CLT as a Construction Material

A Technical Comparison and Suitable Uses

Degree Project in the Engineering Programme

Civil and Environmental Engineering

MATHILDA LUNDBLAD

LINNEA STJÄRNBORG

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of Structural Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Timber is a construction material that differs from other materials as it is renewable and has low environmental impact during the manufacturing process. The development of timber constructions in Sweden is slowly moving forward, which is a disadvantage to a sustainable future. It requires vision and will to use developed methods in timber construction to contribute to a more sustainable development. A successful method used in parts of Europe is cross-laminated timber, CLT, but this method still lacks space on the Swedish construction market.

In this project, difficulties and limitations of building with CLT are investigated and also why the development in Sweden is slow. The aim is also to show that timber as a material generates less carbon dioxide emissions than steel and concrete. A technical comparison of these materials is carried out to create understanding of differences and similarities. The study was presented by means of a literature study and a case study based on life cycle analyses, scrutiny of drawings and documents and through interviews. The case study does not take account to costs and building structures are limited to offices and multi-family houses where mainly floor tiles are studied.

In the case study, it can be concluded that timber is the most environmentally friendly material and that CLT is a method that can be applied more widely to buildings in Sweden. The method requires some technical solutions to meet sound requirements and for fire and moisture are safety precautions required. More requirements that causes problems with design in CLT are total height when the flooring is more elevated. In addition to the fact that CLT produces the least carbon dioxide emissions, it is a product that is easy to handle and flexible at the construction site, has a high prefabrication rate and provides short construction time. In order for the method to evolve on the Swedish market, supply needs to be increased to make it more economically advantageous for companies to choose the product. Requirements and plans may also need to be reviewed to simplify the design of timber so that more companies want to choose methods like CLT to foster a greener future.

Key words: Timber, concrete, steel, CLT, sustainability, life cycle assessment, Building regulations, prerequisites for design, applications.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VII
BETECKNINGAR	VIII
1. INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.4 Metod	2
1.5 Mål	2
1.6 Avgränsningar	2
2. TRÄ SOM KONSTRUKTIONSMATERIAL	3
2.1 Tillverkning av trä	3
2.2 Materialegenskaper	4
2.3 Hållfasthet	6
2.3.1 Drag parallellt fibrerna	7
2.3.2 Drag vinkelrätt fibrerna	7
2.3.3 Tryck parallellt fibrerna	7
2.3.4 Tryck vinkelrätt fibrerna	7
2.2.5 Skjuvbelastning	7
2.4 Hållbarhet ur ett miljöperspektiv	8
2.5 Träprodukter	9
2.5.1 Konstruktionsvirke	9
2.5.2 Limträ	9
2.5.3 LVL - Fanerträ	10
2.5.4 KL-trä	10
2.6 Användningsområden	11
2.7 Lim	12
2.8 Ytbehandling av trä	13
3. STÅL SOM KONSTRUKTIONSMATERIAL	14
3.1 Tillverkning av stål	14
3.2 Materialegenskaper	14
3.3 Hållfasthet	15
3.4 Hållbarhet ur ett miljöperspektiv	16

3.5 Stålprodukter	17
3.5.1 Varmvalsad stål	17
3.5.2 Kallformade stålprofiler	18
3.5.3 Svetsat stål	19
3.6 Användningsområden	19
4. BETONG SOM KONSTRUKTIONSMATERIAL	21
4.1 Tillverkning av betong	21
4.2 Materialegenskaper	21
4.2.1 Tillsatser	22
4.3 Hållfasthet	22
4.3.1 Tryckhållfasthet	22
4.3.2 Draghållfasthet	23
4.3.3 Krympning	23
4.3.4 Krypning	24
4.4 Hållbarhet ur ett miljöperspektiv	24
4.5 Betongprodukter	25
4.5.1 Högpresterande betong	25
4.5.2 Självkompakterande betong	26
4.5.3 Lättbetong	26
4.6 Användningsområden	26
5. KORSLIMMAT TRÄ SOM KONSTRUKTIONSMATERIAL	28
5.1 Tillverkning av KL-trä	28
5.2 Materialegenskaper	30
5.2.1 Termiska egenskaper	30
5.2.2 Fuktrörelser	30
5.2.3 Brandegenskaper	31
5.3 Hållfasthetsegenskaper	31
5.4 Hållbarhet ur ett miljöperspektiv	32
5.5 Användningsområden	33
5.5.1 Väggar	33
5.5.2 Skalkonstruktioner	34
5.5.3 Bjälklag	34
5.5.4 KL-trä i övriga Europa	36
6. STANDARDER OCH NORMER	37
6.1 Eurokoder	37
6.2 EKS	37
6.3 Boverkets byggregler	37
6.3.1 Ljudkrav	37
6.3.2 Brandkrav	38
6.3.3 Fuktkrav	38

6.3.4 Planbestämmelser för detaljplan	39
6.4 Regler och krav i Europa	39
7. FALLSTUDIE OCH RESULTAT	43
7.1 Livscykelanalys	43
7.1.1 Jämförelse betong och stålstomme	45
7.1.2 Jämförelse stål- och trähall	45
7.1.3 Jämförelse stål-/betonghus och trähus	45
7.1.4 Jämförelse betong- och KL-trästomme	46
7.2 Att följa krav och regler	47
7.2.1 Ljudkrav	48
7.2.2 Brand- och fuktkrav	50
7.2.3 Krav på totalhöjd	50
7.3 Referensprojekt 1 - "JSP2 - A Working Lab"	50
7.4 Referensprojekt 2	55
7.4.1 Jämförelse betong- och trästomme	55
7.4.2 Utredning KL-träbjälklag	55
7.5 Utredning av byggtider	57
7.6 Lämpliga användningsområden för KL-trä	58
8. DISKUSSION	59
9. SLUTSATSER	62
REFERENSER	63
BILAGA A - ITERERING FÖR BJÄLKLAGSTJOCKLEK	69
BILAGA B - ITERERING FÖR PÅGJUTNING OCH LJUDMATT	70
BILAGA C - NY TOTALHÖJD MED KL-TRÄBJÄLKLAG	71

Förord

Detta examensarbetet omfattar 15 högskolepoäng inom högskoleingenjörsutbildningen Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers Tekniska Högskola. Examensarbetet har vi utfört med stöd från Integra Engineering AB.

Vi vill nämna och visa uppskattning till personer som bidragit med information och hjälp till vårt projekt. Först vill vi tacka Joosef Leppänen, Universitetslektor på Chalmers Tekniska högskola, som gett oss stöd och handledning genom hela processen. Vi vill även tacka Kajsa Fröjd, Konstruktör på Integra, för bra handledning och vägledning med givande feedback. Sen vill vi tacka Per Hilmersson och Johan Fahlström på Integra som gett oss förståelse för komplikationer vid träbyggnation och annan nödvändig information om referensprojektet JSP2 i samband med intervju.

Göteborg juni 2018

Mathilda Lundblad

Linnea Stjärnborg

Beteckningar

BBR	Boverkets byggregler
CO ₂ e	Koldioxidekvivalenter
EKS	Boverkets konstruktionsregler
Hz	Hertz
KL	Korslimmat
LCA	Livscykelanalys
MPa	Megapascal
vct	Vattencementtal
VKR	Varmbearbetat rör

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Ett aktuellt ämne inom byggbranschen är att minska miljöpåverkan och bygga med förnybara och lokala material. Enligt Lundgren (2017) är det ett aktuellt ämne då bygg- och fastighetssektorn står för 19 % av totala växthusgasutsläppen. Ofta används stål och betong som konstruktionsmaterial då det är beständigt och finns goda kunskaper inom områdena. Dessa material är inte förnyelsebara och kräver mer energi vid framställning. I vissa byggnader eftersträvas stora spännvidder och kompaktare bjälklag men för att kunna bygga hållbart krävs ett material som är förnyelsebart. Trä har många goda egenskaper och behöver användas i större utsträckning för att bidra till en mer hållbar framtid. Korslimmat trä (KL-trä) är en metod som används i stora delar i Europa men i Sverige saknas kunskap om materialet och hur det används (Svenskt trä, 2017).

Trä är ett material som använts till byggnader och konstruktioner under flera hundra år men användningsområdet är fortfarande begränsat jämfört med andra metoder och materialval (Svenskt trä, 2017). Fram till 1994 fick endast 2 våningar byggas i trä med avseende på brand, men när Sverige gick med i EU blev byggreglerna funktionsbaserade, vilket gjorde att trästommar i fler våningar kunde uppföras.

Det som ofta begränsar användandet av trä i byggnader är detaljplaner med höjd- och ljudkrav, bärförmåga och röta (Svenskt trä, 2017). Många länder i Europa ligger i framkant med träbyggnation och vågar använda nyutvecklade processer. Själva metoden KL-trä introducerades i Sverige under 90-talet men redan då användes och projekterades byggnader i Europa med denna metod. KL-trä tillverkas genom att lameller limmas ihop korsvis i flera lager och elementen får, i förhållande till sin vikt, väldigt goda hållfasthetsegenskaper och är lätthanterat. Idag finns en etablerad tillverkare av KL-trä i Sverige, Martinsons, där de främst använder gran och furu.

1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att klargöra vad som bromsar utvecklingen av träbyggnation i Sverige med fokus på KL-trä samt hur denna metod förhåller sig gentemot stål och betong. Koldioxidutsläpp kommer utredas och ge svar på vilket material som gynnar miljön mest och vilka utmaningar som uppstår vid projektering av träkonstruktioner studeras. Denna studie skall ligga till grund för vilka användningsområden KL-trä lämpar sig för och när det är möjligt att använda detta material istället för stål och betong. Vilka tekniska lösningar som krävs och i vilka sorters byggnader denna produkt går att implementera i kommer utredas.

JSP2 är just nu ett pågående projekt som tillhör Johannebergs Science Park där ett mellanbjälklag i KL-trä kommer användas. Denna byggnad kommer användas som ett referensprojekt för att studera om denna dimensionering kan tillämpas på andra byggnader och om det skulle vara möjligt att använda KL-trä i större utsträckning.

1.4 Metod

För att skapa grund och kunskap för detta arbete genomfördes en litteraturstudie för de berörda byggnadsmaterialen stål, betong och trä. Även krav och regler inom byggbranschen studerades. Denna studie behandlar kapitel 2 till 6 och innehåller övergripande fakta om respektive material och en vidareutvecklad del om KL-trä metoden. Litteraturstudien har utformats genom information- och datainsamling från webbsidor, litteratur på Chalmers Universitet, handböcker samt examensarbeten.

För de tekniska jämförelserna har intervjuer utförts med aktörer från branschen och med hjälp av Integra har vidare data samlats in. Ett studiebesök har gjorts för att få förståelse för hur det fungerar att arbeta med KL-trä på en byggarbetsplats. Referenser till JSP2, referensprojekt 1, och ett annat projekt med bostäder, referensprojekt 2, har genomförts för att undersöka om ett KL-träbjälklag hade lämpat sig även i bostadsprojektet.

Jämförelser mellan materialens miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv har studerats och vilka för- och nackdelar som finns för ett KL-träbjälklag har utretts. Dessa studier har tagits fram i en fallstudie genom datainsamling och granskning av gamla handlingar, ritningar, projekteringsunderlag samt genom kontakt med forskare och lärare. Livscykelanalyser utfördes med hänsyn till koldioxidutsläpp för att påvisa respektive materials miljöpåverkan. Vidare gjordes en iterering för ett KL-träbjälklag för att se hur mycket högre byggnaden skulle bli jämfört med det befintliga betongbjälklaget i referensprojekt 2.

1.5 Mål

Målet med denna studie är att komma fram till att KL-trä som konstruktionsmaterial kan användas i större utsträckning i Sverige, detta för att bidra till en mer hållbar framtid för byggbranschen. Målet är även att kunna visa att denna metod är möjlig och gynnsam för fler byggnadsprojekt samt i vilken grad Sveriges byggregler försvårar projekteringen av träkonstruktioner.

1.6 Avgränsningar

De material som behandlas i denna rapport är trä, stål och betong med avgränsning till bjälklag. Bjälklag i KL-trä är den konstruktionsdel som kommer utredas och jämförs med bjälklag i andra material för att se hur projekteringen skiljer sig. Studien kommer att begränsas till flervåningshus och kontor med två olika referensprojekt som grund till jämförelserna.

De tekniska jämförelserna omfattar även materialens miljöpåverkan och hur krav och regler skiljer sig mellan länder i Europa. Den miljöpåverkan varje material utgör har begränsats till att endast behandla koldioxidutsläpp, där enheten som använts är koldioxidekvivalenter. Ekonomiska kopplingar behandlas endast i mindre grad i detta projekt.

Överslagsberäkning bygger på data från ett av bjälklagen som utreddes för JSP2 samt ett bjälklag i KL-trä från Martinsons.

2. Trä som konstruktionsmaterial

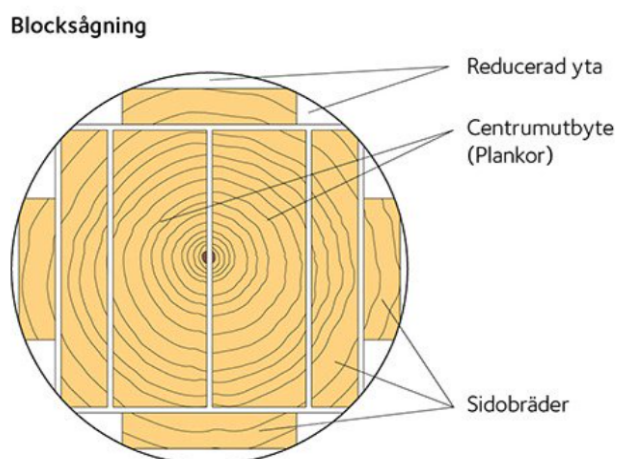
Trä är ett material som använts inom många olika områden genom historien då det har olika egenskaper beroende på träslag (Burström, 2007). Traditionen att bygga med trä lever fortfarande inom byggnadsindustrin och används som både stomsystem, innerbeklädnader och inredningar. Utveckling sker ständigt inom området och olika limningstekniker förutsätter nya materialegenskaper och metoder. Beroende på användningsområde delas träslag in i olika klasser vilka är konstruktionsvirke och snickerivirke. Konstruktionsvirke används med hänsyn till hållfasthet och snickerivirke med hänsyn till träets utseende.

2.1 Tillverkning av trä

Vid fällning av träd tas kvistar bort och stammen delas oftast upp i tre delar, rotstock, mellanstock och toppstock. Övriga delar av trädet kan användas för att flisas och sedan användas till skogsbränsle (Svenskt trä, u.å.).

I sågverket tas de segment bort av stammen som befinner sig utanför området som blir till plankor och brädor (Svenskt trä, u.å.). Profileringsågar används för att få ut bra profiler, därefter delar cirkelsågar upp stammen i plankor och brädor med olika storlekar. Tvärsnittet blir rektangulärt, dock får de yttersta brädorna en liten avrundad kant, se Figur 2.1.

Uppdelning av hållfasthetsklasser görs i sågverket och efter sågningen torkas virket för att det senare inte skall angripas av mögel och röta (Al-Emrani et al., 2013). En illustration över tillverkningsprocessen för trä visas i Figur 2.2.

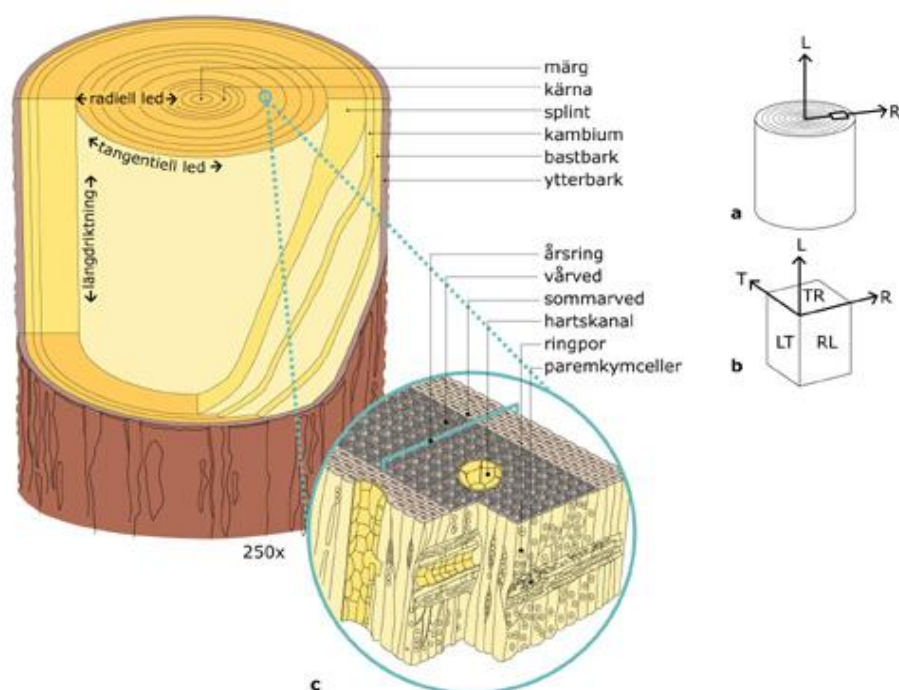


Figur 2.1. Trädstam uppdelad i brädor och plankor (Svenskt trä, u.å.).

Storleken på rören skiljer sig från olika träslag och det finns tjock- och tunnväggiga celler där lameller av fibrer utgör cellernas väggar (Svenskt trä, 2017).

Veden delas in i kärna och splint. Cellerna i kärnan kan inte leda vatten på grund av att de täcks av harster, däremot kan splinten göra detta. I splinten finns inte harster utan cellerna fungerar som vätsketransport (Svenskt trä, 2017). För att trädet skall växa bildas nya celler i Kambium som är ett av de yttre lagren mellan barken och veden se Figur 2.3. Uppbyggnaden av trädets nya celler och fibrer är olika beroende på vilken period som tillväxten sker under (Al-Emrani et al., 2013).

Klimatet under året påverkar trädets uppväxt och gör att olika typer av ved i trädets stam bildas, vårved och sommarved (Svenskt trä, 2017). Vårveden har låg densitet och svaga fibrer med tunna cellväggar medan sommarveden har starkare väggar och mycket högre densitet än vårveden, cirka tre gånger större. Detta beror på att cellernas uppgift i vårveden är att transportera vatten i trädet (Al-Emrani et al., 2013). För att transporten ska vara så smidig som möjligt behöver väggarna vara tunna. Detta gör att vårvedens densitet blir lägre. Behovet av vätsketransporten blir mindre under sommaren och därför kan tjockare cellväggar bildas och densiteten blir högre. Detta gör att hållfastheten i stor grad påverkas av hur mycket sommarved det finns i träet då tjockare cellväggar ger bättre hållfasthet. Hur trädet är uppbyggt med kärna, splint och ved illustreras i Figur 2.3.



Figur 2.3. Trädets uppbyggnad och fiberriktningar (Svenskt trä, 2003).

Andra parametrar som påverkar trädets egenskaper är kvistar, inneslutningar av kåda och bark samt fuktförhållanden (Johansson et al., 2000). Kvistar innebär en störning i fibrerna och att hållfastheten minskar beroende på kvistens form, läge och storlek (Burström, 2007). Snedfibrighet uppkommer bland annat på grund av kvistar och det kan påverka hållfastheten negativt då fibrerna inte längre följer längsgående riktning. Några andra effekter som leder till snedfibrighet är avsmalnande stockar, att virket vrider sig vid torkning och att träet bearbetas och sågas i fel vinkel (Skogs Sverige, u.å.).

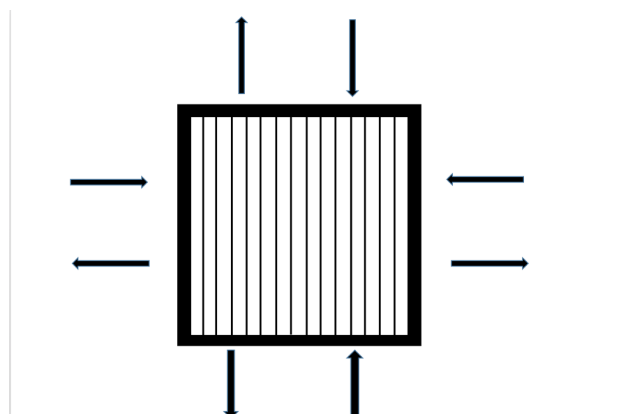
Hållfastheten påverkas också av fukttinnehållet i träet och vid torrt förhållande blir hållfastheten högre (Al-Emrani et al., 2013). Då träet är fuktigt fylls cellväggarna med vatten och detta leder till att materialet sväller och hållfastheten blir lägre. Främst påverkar fukt hållfasthetsegenskaper för trä i tryck. Önskad fuktkvot för konstruktionsvirke ligger mellan 15-18 % efter torkning. Efter torkningen hyvlas virket till rätt dimensioner.

Trä leder värme dåligt men värmeledningsförmågan ökar linjärt med densitet och ökad fuktkvot (Svenskt trä, 2017). Dålig värmeledningsförmåga innebär att ytan på trä materialet inte känns kallt utan behagligt. Värmekapaciteten är hög för trä och beroende på mängd material får materialet goda värmeegenskaper och kan lagra värme.

Vid höga yttemperaturer eller då det finns en antändningskälla kan trä börja brinna. Trä är ett material som brinner långsamt vid grövre dimensioner och då krävs det mer för att det ska antändas och utvecklas till en brand. Om värmeutvecklingen är för trög kan branden även avta (Borgström & Fröbel, 2017). Vid mindre dimensioner och då materialet är tunt och finfördelat, antänds träet lättare och det kommer att brinna snabbare. Detta bevisar att dimensionerna på trä påverkar dess brandegenskaper, men andra faktorer som fuktkvot, densitet och ytråhet har också inverkan på förbränningen (Svenskt trä, 2017). Det som är gemensamt för trä vid brand och anledningen till att dimensionerna för träet har betydande påverkan, är att det yttersta lagret förkolnar och bildar ett skyddande skikt mot den inre delen av träet (Al-Emrani et al., 2013).

2.3 Hållfasthet

Som tidigare nämnt är trä ett anisotropt material. Detta är en viktig parameter att ta hänsyn till vid dimensionering eftersom hållfastheten är olika i de olika riktningarna. Trä har tre olika huvudinriktningar, fiberriktning, tangentiell riktning och radiell riktning (Burstrom, 2007). Den tangentiella riktningen sträcker sig vinkelrätt mot fiberriktningen och parallellt med årsringarna medan den radiella riktningen går vinkelrätt både fibrerna och årsringarna. När träets hållfasthet studeras jämförs drag och tryck både parallellt fiberriktningen och vinkelrätt fiberriktningen, se Figur 2.4 nedan.



Figur 2.4. Bilden visar olika belastningsriktningar i förhållande till fiberriktningen. Författarnas egna bild.

2.3.1 Drag parallellt fibrerna

Hållfastheten är hög i belastningsriktningen drag parallellt fibrerna och brottet blir ofta mycket sprött, brott sker utan att träet hunnit deformeras (Al-Emrani et al., 2013). Träets brottspänning parallellt fibrerna vid dragbelastning brukar ligga runt 80 – 100 MPa, den belastning träet klarar innan brott uppstår.

2.3.2 Drag vinkelrätt fibrerna

I drag vinkelrätt fibrerna är träet mycket svagare och även styvheten är lägre (Al-Emrani et al., 2013). Det är viktigt att vara noggrann med vart i konstruktionen det kan uppkomma dessa typer av spänningar. Några fall där detta kan ske är till exempel vidnockpartier där tvärdragpåkänningar kan uppstå. Även vid urtag i balkändar kan detta vara kritiskt på grund av inverkan från tvärkraften (Al-Emrani, Engström, Johansson & Johansson, 2011).

2.3.3 Tryck parallellt fibrerna

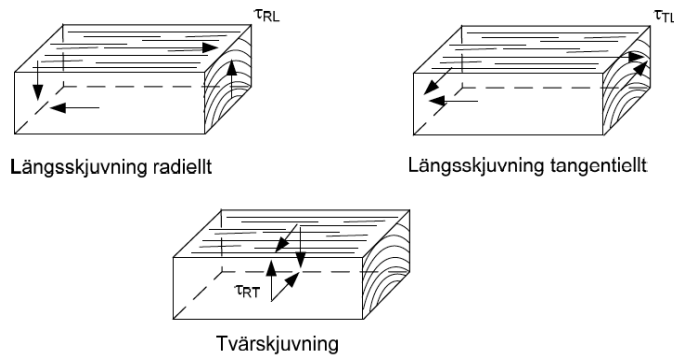
Fibrerna i träet har bra hållfasthetsegenskaper i tryck parallellt fibrerna (Al-Emrani et al., 2013). Det som sker vid för stor last är att fibrerna knäcks, detta kallas även för stukning och gör att träet inte klarar av att ta upp samma laster som tidigare. Omkring 70 - 90 MPa är träets hållfasthet i denna riktning.

2.3.4 Tryck vinkelrätt fibrerna

Cellerna kommer vid tryck vinkelrätt fibrerna att pressas samman vilket medför att hållfastheten och styvheten är låga i detta fall (Al-Emrani et al., 2013). Kraften mellan de sammansatta cellerna spiderna sig till de andra raderna med celler vilket bidrar till att cellerna pressas samman utan att ett riktigt brott sker vid denna belastning. Upplagstryck är en viktig parameter att beakta vid tryck vinkelrätt fibrerna på grund av fibrernas sammanpressning. Detta kan beaktas genom att kontaktytan görs större vilket medför att pålagd spänning minskar.

2.2.5 Skjuvbelastning

Plan som ligger parallellt med fibrerna tar upp skjuvbelastningar bäst (Al-Emrani et al., 2013). Längsskjuvning kallas skjuvhållfastheten i fibrernas riktning, den är ungefär dubbelt så stor som tvärskjuvningen. Det är vanligast att det uppstår skjuvpåverkan i den tangentiella och radiella riktningen. Skjuvhållfastheten i den tangentiella riktningen är lägre än den radiella på grund av att brottytan endast sträcker sig genom vårveden. För radiella riktningen går brottytan även genom sommarveden vilken gör att hållfastheten blir högre. Vid dimensionering används det lägre värdet av dessa två skjuvbelastningar på grund av att det inte är möjligt att skilja på dem. Figur 2.5 visar olika skjuvbelastningar.



Figur 2.5. Olika typer av skjuvbelastningar ett trästycke är utsatt för (Al-Emrani et al., 2013).

2.4 Hållbarhet ur ett miljöperspektiv

Trä är den enda råvaran inom konstruktionsmaterial som är förnyelsebart (Svenskt trä, 2017). Förnyelsebara råvaror som biomassa är enligt Naturskyddsföreningen (2018) en process där växter och träd genom fotosyntesen omvandlar solenergi, koldioxid och vatten till nya beståndsdelar och syre. Så länge solen lyser kommer denna process fortskrida och bistå med obegränsade resurser (Energikällor, 2018). Materialet tillhör kolets kretslopp vilket innebär låga emissioner av växthusgaser såsom koldioxid och metan (Gyproc AB, 2003). Koldioxid frigörs endast när trädet förmultnar eller förbränns men under träets hela livstid lagras stora mängder koldioxid till biomassan. Ju större mängd biomassa av trä, desto större mängd koldioxid kan bindas och det slipper finnas fritt i atmosfären.

Tillverkning av träprodukter är en process som kräver lite tillförd energi då mycket energi kommer från processens egna biprodukter (Svenskt trä, 2017). Sågspån och bark är biprodukter som omvandlas till biobränsle och står för ca 80 % av all den energi som används vid tillverkning av trävaror. Detta innebär att all trämassa som skövlas kommer till användning, antingen i form av en produkt eller som energi. Det krävs också lite energi för montage på byggarbetsplatsen då trä är ett material som kan prefabriceras.

Det finns tre olika sätt att ta tillvara på trä efter användning: återanvändning, materialåtervinning och energiåtervinning (Skogsindustrierna, u.å.). Återanvändning sker så länge produkten är intakt och inom logistik och transport är det vanligt att detta förekommer. Träemballage och lastpallar är produkter som återanvänds flertalet gånger och inom byggindustrin och även dörrar, fönster och virke kan återanvändas (Svenskt trä, 2017). När träet är för slitet för att återanvändas för ett liknande ändamål som innan kan det bearbetas för ny funktion genom materialåtervinning. Några exempel på produkter som skapas av återvunnet trä är spånskivor och papper. Förutom materialåtervinning går det att förbränna träet så att energi kan produceras.

I strävan mot en mer hållbar framtid uppmuntras skogsbruk att miljöcertifiera sitt trä och i sin tur byggindustrin att upphandla sådana produkter (Kellner & Stålbom, 2001). En FSC-certifierad (Forest Stewardship Council) träprodukt innebär att den kommer från ett skogsbruk med kontrollerade former och avverkning samt att de bevarar

biologisk mångfald och vattenresurser. Detta är ett tecken på att trä som konstruktionsmaterial kan tas fram på ett sätt som har liten miljöpåverkan.

2.5 Träprodukter

Beroende på hur träet tas tillvara på efter avverkning kan olika träprodukter med olika egenskaper framställas. De olika konstruktionsmaterialen används i olika byggnadskonstruktioner beroende på vilka egenskaper konstruktionen ska besitta. Nedan beskrivs olika typer av träprodukter som kan användas i konstruktionsdelar.

2.5.1 Konstruktionsvirke

Konstruktionsvirke implementeras i bärande konstruktionsdelar vilket medför att det behövs krav på virkets hållfasthet (Al-Emrani et al., 2013). Vid tillverkning sågas trädstammarna upp till virke som sedan torkas och det som ska bli konstruktionsvirke hyvlas efteråt. Standardmått i Sverige för konstruktionsvirke är multiplar av 25 mm. Figur 2.6 visar olika standarddimensioner i mm.

Virket delas in i olika klasser som beskriver vilken hållfasthet konstruktionsvirket besitter, C14 - C35 (Svenskt trä, 2017). Numret beskriver den karakteristiska böjhållfastheten i MPa. Detta betyder att ju lägre hållfasthetsklass desto större behöver dimensionerna på virket vara.

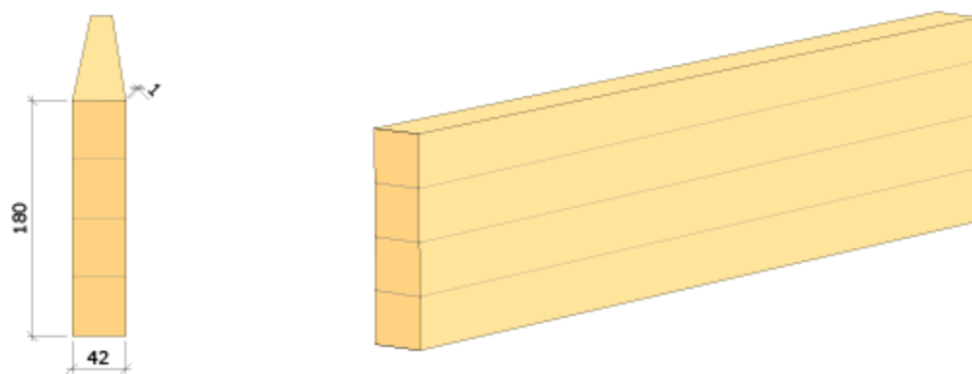
Tjocklek/bredd	45	70	95	120	145	170	195	220
13	x	x	x	x				
22	x	x	x	x	x	x	x	x
34	x	x	x	x	x	x	x	
45	x	x	x	x	x	x	x	x
70	x	x	x	x	x	x	x	x

Figur 2.6. Olika standarddimensioner för konstruktionsvirke (Al-Emrani et al., 2013).

2.5.2 Limträ

Limträ består av ett antal ihoplimmade lameller, konstruktionsvirke, som är sammankopplade med dess fiberriktning parallellt med längdriktningen på konstruktionen (Al-Emrani et al., 2013). Minst fyra lameller behövs för att de skall kunna kallas för limträ. Materialet i de yttre lamellerna brukar normalt sett vara starkare, ha en högre hållfasthetsklass, på grund av att momentet till största del tas upp där. Normalt är lamellerna 45 mm tjocka för raka konstruktioner.

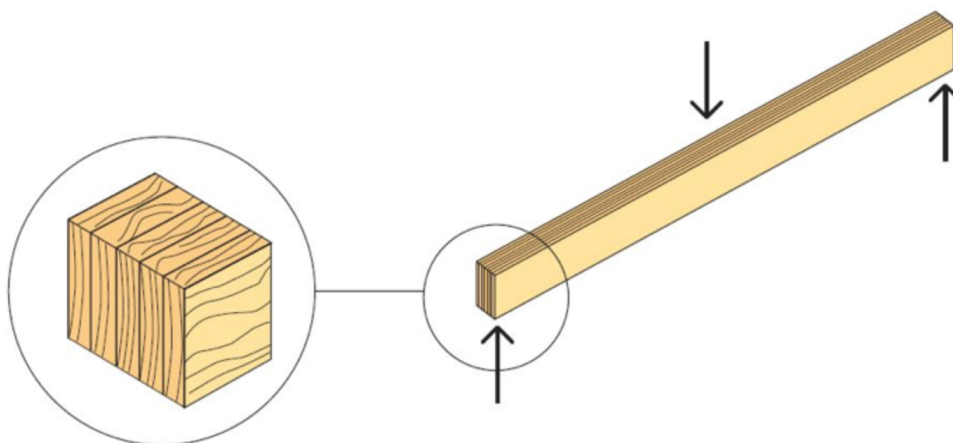
Limträ är ett av det starkaste konstruktionsmaterialen i förhållande till sin vikt. Det är även formbart vilket till exempel gör att krökta balkar kan skapas (Al-Emrani et al., 2013). Figur 2.7 visar ett exempel på en limträbalk.



Figur 2.7. Illustration över en limträbalk (Svenskt trä, 2017).

2.5.3 LVL - Fanerträ

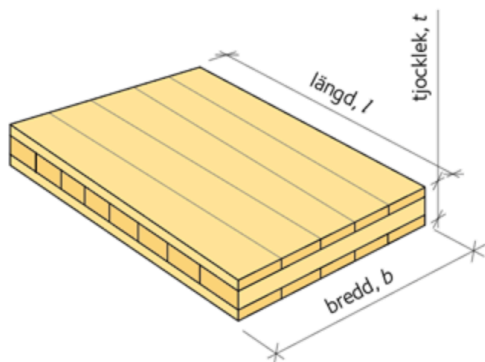
Fanerträ är tillverkat genom att tunna fanerskikt av virke är ihoplimmade så att alla skikten har fiberriktningen åt samma håll (Al-Emrani et al., 2013). Träskikten skapas genom svarvning ur trästockar. De limmade skikten sågas sedan till stora balkar. Hållfastheten och styvheten blir höga. Figur 2.8 visar en balk av fanerträ.



Figur 2.8. Illustration av en fanerträbalk (Svenskt trä, 2017).

2.5.4 KL-trä

KL-trä är tillverkat av konstruktionsvirke som sätts samman med hjälp av lim (Martinsons, u.å.). De olika lagerna placeras i kors vilket medför att elementet blir tåligt och tvärstyvt för sin låga vikt. Stora konstruktioner kan byggas med KL-trä och längre spannvidder möjliggörs. Det är även lättarbetat, vilket gör att montaget går relativt snabbt. Figur 2.9 visar ett element av KL-trä och en fördjupning inom KL-trä görs i Kapitel 5.

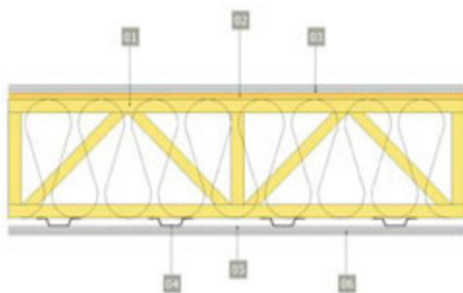


Figur 2.9. Ett element av KL-trä (Svenskt trä, 2017).

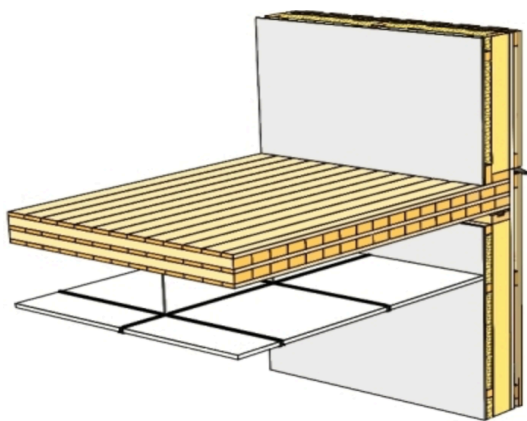
2.6 Användningsområden

Trä har väldigt varierande användningsområden då det kan användas för stommar i byggnader, golvbeklädnader, inner- och ytterväggar med mera (Burstrom, 2007). Vid användning av träprodukter på platser där materialet riskerar att utsättas för biologiska angrepp kan träet impregneras för att öka sin livslängd. För att hindra nedbrytning utan att impregnera virket bör torrt virke användas (Al-Emrani et al., 2013). Det är även viktigt med noggrannhet gällande luftspalter samt att kondens förhindras i konstruktionen.

Träbjälklag kan utformas på ett antal olika sätt med konstruktionsvirke, limträ eller massivträ som ingående material (Svenskt trä, 2003). Olika typer av bjälklag som används är botten-, mellan- och takbjälklag. Ett mellanbjälklag skiljer våningsplan emellan och då det består av konstruktionsvirke eller limträ skapas bjälklaget av träreglar, isolering samt överliggande och underliggande skivor, se Figur 2.10. En annan lösning är mellanbjälklag i massivträ, det vill säga KL-trä, se Figur 2.11, som kan konstrueras antingen som platt-, kassett-, håldäcks- eller samverkansbjälklag.



Figur 2.10. Mellanbjälklag med träreglar (Svenskt trä, 2003).



Figur 2.11. Mellanbjälklag i massivträ (Svenskt trä, 2003).

Det som begränsar användandet av trä i bjälklag är kraven på brand och ljud. Eftersom trä är lätt i förhållande till sin vikt kan det vara svårare att uppnå kraven då dimensionerna ofta blir större (Svenskt trä, 2017). Spännvidden för bjälklag i massivträ sträcker sig ungefär till 6,9 m som mest för bostäder och 7,7 m för kontor (Martinsons, 2016).

Fasadväggar i trä kan både konstrueras som bärande och icke bärande (Svenskt trä, 2017). De bärande väggarna kan till exempel vara konstruerade av massivträ och de icke bärande fasadväggarna kan vara utfackningsväggar där väggen inte tar några vertikala laster utan enbart egenvikt och vindlast. Det som bär i utfackningsväggen är pelarna inuti väggen, men dessa räknas inte in i själva väggkonstruktionen. I flerbostadshus är utfackningsväggen den vanligaste typen av fasadvägg.

Även innerväggar i trä konstrueras på olika sätt beroende på om den ska vara bärande eller ej (Svenskt trä, 2017). Vid önskemål av en värme- och fukttrög stomme kan innerväggar i KL-trä väljas, annars är vanliga regelväggar enkelt att använda. Även för byggnader där den mekaniska hållfastheten är hög lämpar sig KL-trä som innerväggar.

Balkar är ett vanligt användningsområde för trä då limträbalkar är stabila samt lätta att forma. Träbalkar kan användas till både golv- och takkonstruktioner samt broar med mera. I takkonstruktioner där takstolar används är konstruktionsvirke och limträ vanligt att använda (Svenskt trä, 2017).

2.7 Lim

Lim är en bindemedelslösning som används för hopfogning av fasta material (Kellner & Stålbom, 2001). Vid användning av lim eftersträvas tunna lager och skikt då detta material kan avge emissioner efter lång tid. Lim är komplicerade produkter med konserveringsmedel och alkoholer som kan påverka människor och dess hälsa. Alkoholen n-butanol kan ge irriterade slemhinnor och konserveringsmedel påverkar personer som är överkänsliga. Det är därför viktigt att välja ett lim som är miljöanpassat för att undvika risker och besvär för boende.

Lim sorteras som farligt avfall vid återvinning på grund av att det ofta innehåller farliga lösningsmedel (Återvinning Stockholm, 2018).

2.8 Ytbehandling av trä

För att trä ska bli beständigt mot yttre påverkan behöver det ytbehandlas för att inte brytas ner av exempelvis svampar och mikroorganismer (Burström, 2007). Vanligtvis används färg eller lack för behandling (Svenskt trä, u.å.). Ytbehandling i form av färg används även för estetisk effekt och skillnaden jämfört med lack är att färgen innehåller pigment. Ytbehandlingar gör att sprickbildning och deformationer i viss grad förhindras.

Vissa ämnen som finns i impregneringar är skadliga för miljön, bland annat arsenik, kreosot och krom (Burström, 2007). På grund av miljöpåverkan från dessa är användningen begränsad, exempelvis får bara medel med arsenik och krom användas för konstruktioner i mark eller vatten. Det finns fyra klasser som träskyddsmedlen delas in i, M, A, AB samt B. Klass M innehåller mest bekämpningsmedel och detta beror på att det ska klara av att vara i vatten.

Vid återvinning av impregnerat trä ska det tas om hand separat, som farlig avfall, eftersom alla de farliga ämnena inte försvinner vid förbränning (Kemikalieinspektionen, 2018). Detta görs i speciella anläggningar där ämnena kan tas om hand.

3. Stål som konstruktionsmaterial

Stål är en produkt som har goda hållfasthetsegenskaper på en mindre mängd material och används i stor utsträckning för konstruktioner (Uppfeldt, 2008). Historiskt sett användes stål till en början som spik och dymlingar men under sent 1700 tal utvecklades teknikerna och broar och konstruktioner skapades i stål (Al-Emrani et al., 2013). Valsning, svetsning och skruvförband fortsatte utvecklingen inom stålkonstruktion och lade grund för de moderna tekniker som fortfarande finns idag. Fördelen med detta material är främst att dimensionerna blir mindre för att uppnå samma kapacitet som exempelvis trä och att det tillverkas industriellt vilket ger en noggrann och snabb process.

3.1 Tillverkning av stål

Framställning av stål sker under höga temperaturer där råjärn och kol blandas (Burström, 2007). Råjärn tillverkas genom utvinning av järnmalm som anrikas till slig som därefter förädlas i masugnar till råjärn. När denna process är klar är kolhalten i råjärnet fortfarande hög vilket gör att det inte är smidbart och att materialet är sprött. Genom en färskningsprocess oxideras överskottet av kolet bort samt diverse föroreningar till en produkt som sedan används i stålframställningen. Färskning sker i en LD-konverter där syrgas blåses in i smältbadet och leder till att råjärnet blir till flytande stål (Nationalencyklopedin, 2018). Denna produkt renas och finjusteras sedan i en skänkgugn så att stålet får de egenskaper som önskas genom diverse tillsatser av legeringsämnen. Stål kan också framställas av återvunnet stål, skrot, och råjärn i en ljusbågsugn där skrotet smälts och råjärnet tillsätts.

3.2 Materialegenskaper

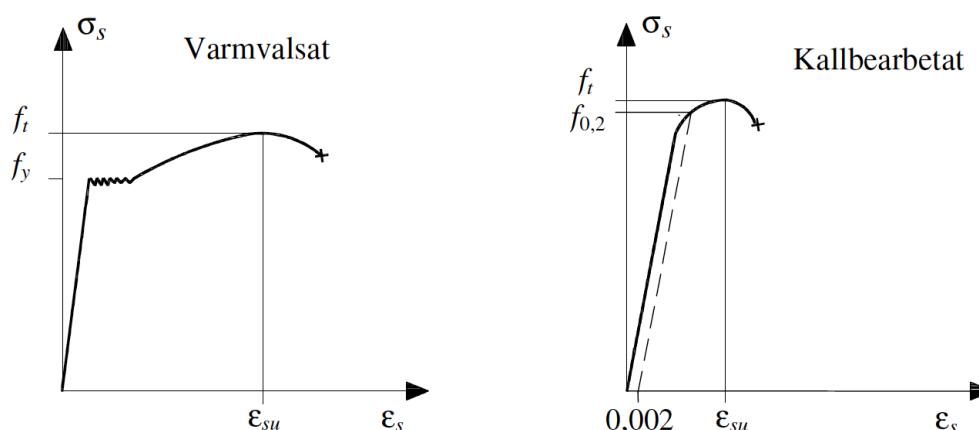
Stål består till största del av kol och järn som tillsammans bildar en legering (Nationalencyklopedin, 2018). En legering är en blandning av olika grundämnen med metalliska egenskaper som bildar starka och hårda material. Stål är uppbyggt av atomer som bildar elementarceller vilket i sin tur skapar kristaller av dessa till ett gitter (Al-Emrani et al., 2013). Legeringsämnena finns oftast i stålgitret och det är främst kolhalten som bestämmer stålets hållfasthet och hårdhet. Med ökad kolhalt minskar segheten och svetsbarheten vilket gör att det ställs krav på hur mycket kol som får finnas i ett konstruktionsstål. Kolhalten i normalt stål skall högst vara 2 procent medan gjutjärn har en högre kolhalt, 2 - 4 procent (Stålbyggnadsinstitutet, 2004). Utöver olika kolhalter i stål kan variationer i materialegenskaper åstadkommas genom olika processer (Burström, 2007). Normalisering och härdning förändrar stålets egenskaper genom att det värms upp och sedan kyls i antingen vatten eller luft. Kallbearbetning innebär att varmvalsat stål belastas och sedan avlastas för att skapa andra egenskaper (Al-Emrani et al., 2013).

Temperatur, segring och åldring påverkar också stålets egenskaper (Al-Emrani et al., 2013). När stålets temperatur höjs kommer brottgränsen att minska, åldrande påskyndas och stålet utvidgas. När stålet utvidgas kan det skapa spänningar om stålet inte kan röra sig fritt. Åldring sker under tid och gör att segheten minskar och att sprödheten ökar. Det sista fenomenet som kan uppstå är segring som uppstår av inneslutningar och gasavgivning i stålet beroende av tjockleken.

3.3 Hållfasthet

Vid belastning av en provstav i stål kommer olika beteenden uppstå (Al-Emrani et al., 2013). Det första beteendet för stålet är elastisk respons vilket menas att när provstaven utsätts för högre kraft dras atomerna isär mer och mer, men inom det elastiska området går atomerna tillbaka till sitt ursprungsläge efter avlastningen. Stålet återgår med andra ord till sitt ursprungliga utseende. Stål bör ligga i det elastiska området vid brukgränstillståndet för att det inte ska uppstå för stora deformationer vid avlastning av konstruktionen.

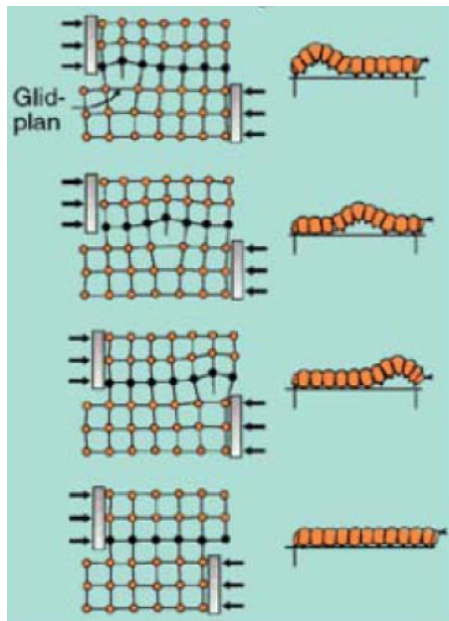
Efter att en provstav belastats fås stålets arbetskurva (Al-Emrani et al., 2013). Denna materialberoende kurva visar sambandet mellan spänning och töjning. Spänningen beräknas annars genom att dividera den pålagda lasten med tvärsnittsarean på provstaven och töjningen beräknas genom deformationen dividerat med ursprungslängden. Från arbetskurvan kan parametrar som elasticitetsmodul, sträckgräns, brottgräns, brotttöjning samt maximal töjning utläsas. Stålets arbetskurva för varmvalsat och kallbearbetat stål visas i Figur 3.1.



Figur 3.1. En illustration av stålets olika arbetskurvor (Al-Emrani et al., 2013).

Vid beaktning av stålets hållfasthetsegenskaper studeras främst stålets sträckgräns och brottgräns (Åstedt, 2009). Sträckgränsen är den gräns, eller spänning, stålet börjar att plasticera, detta fenomen kallas även för att stålet flyter, flytgräns. Töjningen brukar ligga runt 0,1 - 0,3 procent beroende på vilken hållfasthetsklass konstruktionsstålet har.

I stål finns defekter vilket medför att stålet får flytande egenskaper (Al-Emrani et al., 2013). Dislokationer är en sorts defekt, det är ett atomplan som tar slut i kristallstrukturens mitt. Det saknas med andra ord atomer i atomgittret. Ungefär en miljard dislokationer uppkommer på varje kvadratcentimeter. När sträckgränsen nås kommer dislokationerna att börja röra på sig i gittret. En skjuvande kraft måste finnas för att detta skall ske och den måste vara så pass stor att atomen som befinner sig ovanför dislokationen trycker iväg den närmaste atomen och själv tar över bindningen, se Figur 3.2.



Figur 3.2. Dislokationer i rörelse (Al-Emrani et al., 2013).

När deformationen ökar blir även mängden dislokationer fler (Al-Emrani et al., 2013). Detta medför att det kommer krävas en större kraft för att dislokationerna ska röra på sig. Det kallas för att stålet deformationshårdnar. Vid avlastning av stålet i detta skede återgår inte dislokationerna utan stålet beter sig som ifall att det vara i det elastiska området. Detta medför att stålet får en högre sträckgräns efter belastningen samtidigt som deformationsförmågan blivit mindre.

Brottgränsen är den högsta töjningen stålet klarar av vid jämnt fördelad töjning (Åstedt, 2009). Töjningen ligger omkring 8-15% för varmvalsat stål. Klyvbrott samt skjuvbrott är två olika typer av brott (Al-Emrani et al., 2013). Med klyvbrott menas att bindningarna bryts vinkelrätt mot brottets plan och vid ett skjuvbrott bryts bindningarna genom avglidning. När spänningen som en provstav utsätts för är lika stor som stavens brotthållfasthet går staven till brott.

Brand påverkar enligt Andersson, Hedin, Johansson, Lundin, Nyquist, Sehlå, Thomasson och Treiberg (1992) både stålets hållfasthet och elasticitetsmodul. Eftersom stål har bra värmeledningsförmåga påverkas det mycket av brand vilket gör att stålet oftast brandskyddsmålas.

3.4 Hållbarhet ur ett miljöperspektiv

Framställning av stål görs industriellt vilket innebär att tillverkningsprocesserna blir kortare och komponenter kan förtillverkas (Uppfeldt, 2008). Detta underlättar montage på bygplatser och att byggtiden förkortas vilket i sin tur innebär mindre energiåtgång vid montering. Även yta sparas då mindre dimensioner kan användas på materialet. Framställning av stål kräver dock stora mängder energi då stålets komponenter tillverkas under höga temperaturer (Svenskt näringsliv, 2014). Framförallt är det framställning av järn i masugnar som kräver energi och denna kommer till största del från fossila bränslen vilket bidrar till emissioner av koldioxid. En annan nackdel med järn är att det bryts ut ur gruvor vilket alstrar stoft som frigör miljöbelastande metaller (Kellner & Stålbom, 2001).

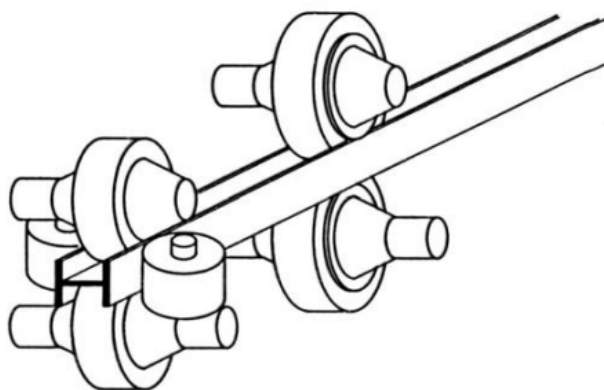
Stål är en produkt som kan återanvändas och återvinnas oändligt många gånger (Svenskt näringsliv, 2014). Det kan återanvändas i sin ursprungliga form eller efter modifiering samt återvinnas efter nedsmältning (Uppfeldt, 2008). Efter nedsmältning kan tillverkning av nytt stål med nya och bättre egenskaper framställas vilket kräver mindre energiåtgång än produktionen av järnmalm. Vid återvinning av stål från skrot krävs en tredjedel av energin som behövs för järnmalms förädlingen och inom byggsektorn i Sverige återvinns hela 80 % av restprodukter (Kellner & Stålbom, 2001).

3.5 Stålprodukter

Det förekommer en mängd olika produkter som är tillverkade av stål till byggindustrin. Dessa produkter behöver inte alltid vara synliga i en färdig konstruktion och de utformas för just det användningsområdet som önskas. Olika stålprodukter som används som byggnadsmaterial beskrivs nedan.

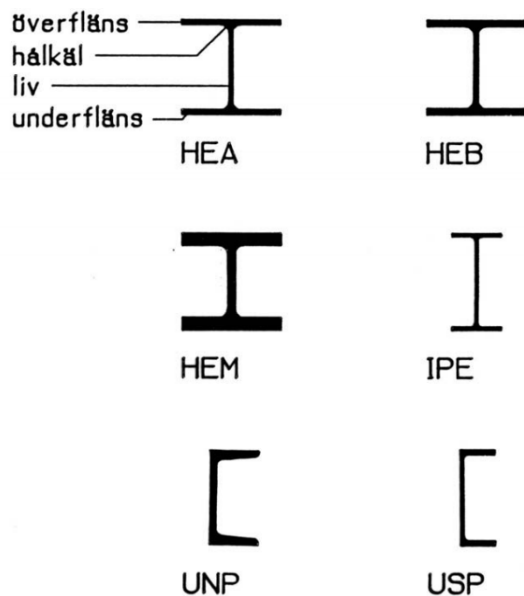
3.5.1 Varmvalsad stål

Det är möjligt att tillverka olika profiler i stål genom att uppvärmt stål förs genom valsspår se Figur 3.3, (Al-Emrani et al., 2013). Efter formning av stålet till önskad profil får stålet svalna. De olika produkterna som tillverkas genom varmvalsad stål är balkar, stänger, plåtar och rör.



Figur 3.3. Varmvalsning av en stålprofil (Al-Emrani et al., 2013).

Balkar inom byggindustrin tillverkas i I-, HE- och U- profiler och har standardiserade dimensioner se Figur 3.4, (Al-Emrani et al., 2013). Profilerna har olika egenskaper och används också som pelare. I dessa profiler svalnar de yttre delarna först och de inre delarna sist. Detta resulterar i att det skapas tryckspänningar i delarna som stelnar först och dragspänningar i delarna som stelnar sist då de vill få med sig de redan stelnade delarna. Spänningarna i profilen blir större ju tjockare komponenterna är.



Figur 3.4. Stålprofiler för balkar och pelare (Al-Emrani et al., 2013).

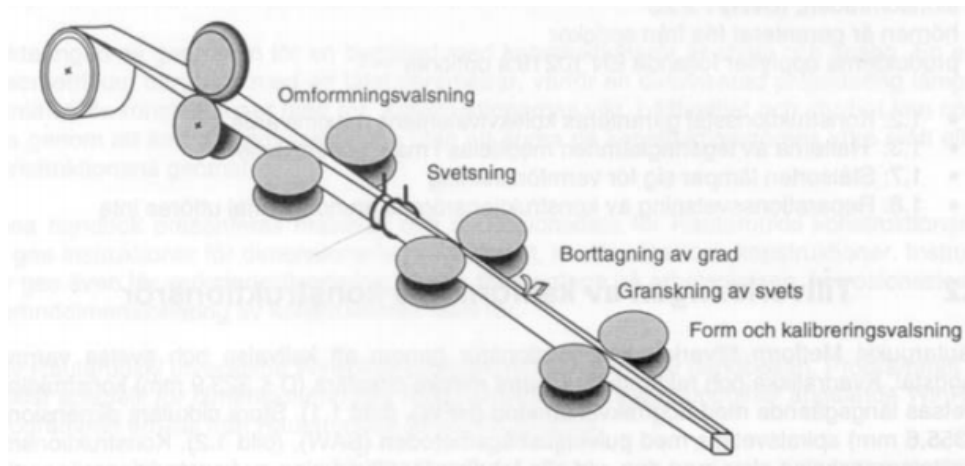
Stänger och plåtar används främst vid stag och förband (Al-Emrani et al., 2013). Armeringsstänger är en produkt som används som stag för att förstärka betong genom att det tar dragkrafter.

Rör används som pelare eller del i fackverkskonstruktioner och utformas på två sätt (Al-Emrani et al., 2013). Det ena sättet är att tillverka rören genom varmt tillstånd som benämns som varmbearbetat rör, VKR. Rören kan vara cirkulära, kvadratiska eller rektangulära och får olika egenskaper beroende på bearbetningen.

3.5.2 Kallformade stålprofiler

Vid rumstemperatur kan tunnplåt formas genom kantböckning, rullformning, kalldragning eller kantpress (Burström, 2007). Dessa metoder används för att tillverka standardiserade profiler, sammansatta profiler samt specialprofiler. Bearbetningen kräver smörjmedel för att minska friktionen mellan ämne och vals och därefter deformationshårdnar materialet (Nationalencyklopedin, 2018). Material som tillverkas genom kallbearbetning används främst som vägg- och takbeklädnad, reglar och balkar (Al-Emrani et al., 2013). Ett exempel på en färdig produkt som kallbearbetas är trapetsprofil (TPR) som kan användas som plåttak (Saint-Gobain Sweden AB, 2017).

Konstruktionsrör tillverkas även i kallt tillstånd och benämns som kallbearbetat rör, KKR, se Figur 3.5, (Al-Emrani et al., 2013). Dessa produkter tillverkas i samma former och har samma användningsområden som VKR.



Figur 3.5. Kallbearbetning av ett stålrör (Al-Emrani et al., 2013).

3.5.3 Svetsat stål

Genom svetsning kan formning och sammanfogning av stålprofiler ske för avsedd funktion (Al-Emrani et al., 2013). Svetsning innebär att stålet snabbt smälts ner i önskat område och sedan stelnar på grund av det omkringliggande materialet som är kallt. Produkter som svetsas är bland annat stålbalkar och detta görs för att klara stora laster och få ökad momentkapacitet.

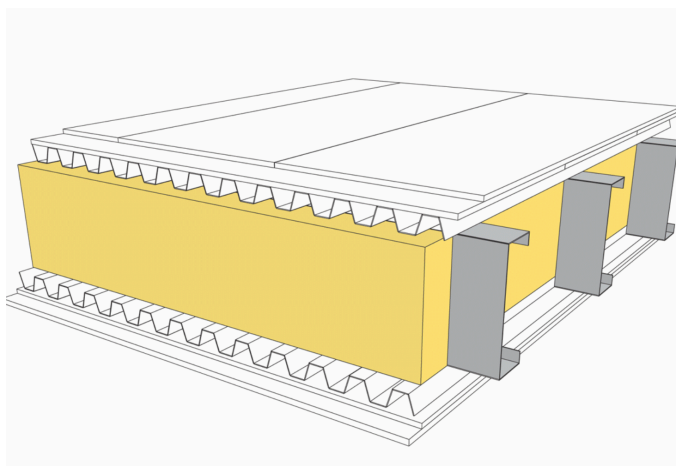
3.6 Användningsområden

Stål används i stor utsträckning i byggnader, bland annat till bjälklag, plåttak, pelare, balkar, bjälklag, armering samt fackverk (Jernkontoret, 2018).

Vid utvecklandet av den profilerade plåten kunde användandet öka (Andersson et al., 1992). Det blev smidigare att bygga hallar och idag är hallar den vanligaste typen av stålbyggnad. Stål används mest i högre byggnader då det är smidigt att använda i den bärande stommen. Det byggs sällan bostadshus helt i stål men däremot kan stålpelare och balkar implementeras för att få bättre stabilitet.

En vanlig stomme i stål är pelar-balk-stommar där balkarna tar upp de vertikala lasterna och pelarna för ner lasterna till grunden (Andersson et al., 1992). För stabilisering i horisontalled kan exempelvis fackverkssystem av stål användas.

Bjälklag i stål kan konstrueras av stål med C-profiler som är bärande (Åstedt, 2009). Dessa placeras med ett centrumavstånd på 600 mm. Höjden på C-profilerna varierar beroende på vilken spännvidd som eftersträvas. På balkarna fästs en trapetsprofilerad plåt som gör bjälklaget styvt i horisontalled. Isolering läggs emellan de C-profilerade balkarna. Användningsområdet för dessa bjälklag är främst bostäder. Ett bjälklag i stål visas i Figur 3.6.



Figur 3.6. Lättbjälklag i stål (Isover, u.å.).

Även samverkansbjälklag kan utföras i stål, då i kombination med betong (Åstedt, 2009). Betongen tar upp tryckspänningar och stålet dragspänningar.

Stål är också ett vanligt material att använda vid sammanfogningar av byggnadselement (Al-Emrani et al., 2011). Bland annat svets- och skruvförband används i stor utsträckning. Skruvförbanden används i större uträkning vid montage på byggplatsen då svetsarna lätt påverkas negativt av klimatet utomhus. Däremot eftersträvas ofta att så mycket montage som möjligt skall göras i fabrik och då lämpar sig svetsförband bättre. Stål används inte bara för sammanfogningar av stålkonstruktioner utan även till trä- och betongkonstruktioner.

4. Betong som konstruktionsmaterial

Att använda betong som material i byggnadskonstruktioner började redan under Romarriket och var en vidareutveckling av det vanliga murverket (Hellers, Hertzell, Sjöström, 2003). Tekniken blev en stor händelse inom byggnadskonsten och användes till en början för att bygga valv och kupoler med stora spännvidder. Dessa historiska byggnader finns än idag vilket tyder på betongens goda beständighet och vilken revolutionerande teknik det var redan då. Idag är betong en viktig del inom byggnadsindustrin och används bland annat som stommaterial, fasad och husgrund samt till att bygga broar och vägar (Burström, 2007).

4.1 Tillverkning av betong

För att framställa betong krävs ett antal olika komponenter, ballast, cement och vatten (Burström, 2007). För att i större grad påverka betongens egenskaper kan även olika tillsatsmedel blandas i.

Cement framställs genom att kalksten och lera mals ner och bränns i roterande ugnar (Burström, 2007). Efter bränningen har blandningen blivit till små kulor som mals ned och blandas med gips för att bindningen ska ske i lagom hastighet. Det finns olika typer av cement där egenskaperna hos komponenterna skiljer sig åt och även hur proportionerna vid tillverkning ska vara för att olika typer av betongklasser skall bildas. De olika typerna är portlandcement, portland-kompositcement och slaggcement.

Ballasten består av bergsmaterial som krossas eller så hämtas det från grustag (Burström, 2007). I ballast eftersträvas olika kornstorlekar då de mindre kornen ska fylla hålrummen mellan de större kornen. Cementpastan fyller ut hålrummen mellan de mindre kornen. För att dela upp kornstorlekarna används siktar där maskvidden blir mindre och mindre för varje sikt. Detta gör kornen fördelas på olika nivåer beroende på vilken storlek de har. Siktningen används sedan för att få fram en bra blandning av olika kornfraktioner i ballasten.

Det som gör att betongen binder sig är blandningen av cement och vatten, även kallat cementpasta (Burström, 2007). Blandningen gör att ballasten binder sig. Vattencementtalet (vct) som är proportionerna på cementpastan, avgör egenskaperna hos betongen. Talet tas fram genom att dividera andelen vatten med mängden cement.

De olika komponenterna rörs samman och hålls sedan ner i gjutningsformarna innan bindningen av cementen börjar för att betongen enkelt ska flyta ut i formen (Burström, 2007). För att få bort luftporer i betongen vibreras den vid gjutning för att egenskaperna ska bli bättre.

4.2 Materialegenskaper

Betong är ett billigt, lättillgängligt, beständigt och formbart material (Al-Emrani et al., 2013). God beständighet kan uppnås genom ett kvalitativt utförande och val av material samt att det placeras i rätt miljö. Betongen kan också formas och ge ett estetiskt utseende innan den hårdnar. Andra egenskaper som materialet har är att det är värmelagrande, ljuddämpande och att det inte är brännbart.

Vattnets kvalitet påverkar betongens egenskaper då både hållfastheten och beständigheten kan påverkas negativt (Burström, 2007). Vatten med för mycket salt i är ej bra att använda utan naturligt vatten som är drickbart är att föredra. Hur mycket vatten som tillsätts till cementpastan påverkar också betongens egenskaper. Om vct blir högre blir betongen svagare och hållfastheten lägre.

Temperatur och tid påverkar härdningsprocessen för betong och i sin tur hållfasthetstillväxten (Burström, 2007). Är temperaturen hög kommer detta resultera i en betong med sämre kvalité och fryser betongen kommer bestående skador i form av inre sprickbildning uppstå. En annan parameter som påverkar beteendet och volymen för betong är fukt, där uttorkning kan leda till krympning och uppfuktning kan leda till svällning.

4.2.1 Tillsatser

Tillsatsmedel hjälper till att få de egenskaperna på betongen som eftersträvas (Burström, 2007). Det vanligaste medlet är flyttillsatsmedel som påverkar konsistensen. Det hjälper till att minska vattenhalten och då ökar betongens hållfasthet. Om mer vatten hade tillsatts betongen för att få en mer flytande konsistens hade detta istället medfört separation samt sämre hållfasthet, därför är flyttillsatsmedel väldigt vanligt vid gjutning. Ett annat medel som också påverkar vatteninnehållet i betong är vattenreducerande tillsatsmedel. Detta medel minskar behovet på vatten och ger ökad arbetbarhet och hållfasthet.

Några andra tillsatsmedel som ändrar betongens egenskaper är luftporbildande och retarderade medel samt acceleratorer (Burström, 2007). Dessa medel innebär att betongen blir frostbeständig, att den stelnar med lägre hastighet eller att hållfasthetstillväxten påskyndas.

Tillsatsmaterial kan tillsättas betongen för att ändra pastans struktur (Burström, 2007). Silikastoft och flygaska är två material som används i Sverige. Mängden som tillsätts påverkar effekten och resultat av tillsatser är bättre sammanhållning och stabilitet i betongen.

4.3 Hållfasthet

De typiska hållfasthetsegenskaperna hos betong är att den klarar sig bra i tryck men sämre i drag (Al-Emrani et al., 2013). För att få bra hållfasthetsegenskaper hos betongen behöver den armeras där det uppkommer dragspänningar. Detta gör betongen i de flesta fall till en samverkanskonstruktion mellan stål och betong.

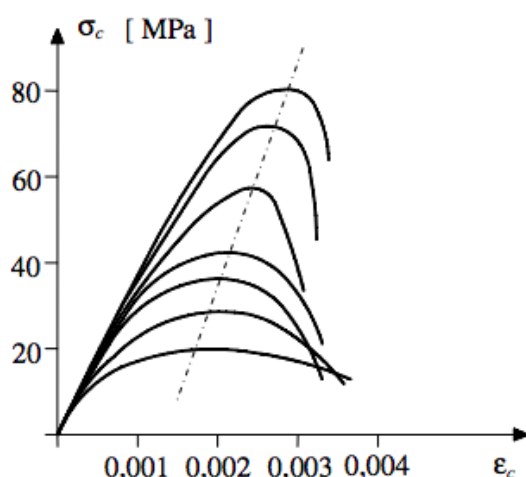
4.3.1 Tryckhållfasthet

För att kontrollera hur betong reagerar vid tryckbelastning studeras olika provkroppar (Al-Emrani et al., 2013). Vid kontrollerna framkommer efter omräkning spänning och stukning. Med stukning menas negativ töjning och genom dessa parametrar fås betongens arbetskurva i tryck fram. Arbetskurvan i tryckbelastning är från start nästan

olinjär se Figur 4.1, men skillnaden är så liten att beräkningarna för spänning utförs med linjärt samband till ungefär 0,5-0,6 gånger av tryckhållfastheten.

Den hastighet som belastningen sker med har inverkan på tryckhållfastheten (Al-Emrani et al., 2013). Vid höga belastningshastigheter blir tryckhållfastheten högre och vid långsammare belastningsförlopp minskar tryckhållfastheten och deformationen ökar vilket sker på grund av krypning. Begreppet krypning förklaras mer i avsnitt 4.3.4.

Även spänningen påverkar tryckhållfastheten på olika sätt beroende på hur belastningen sker (Al-Emrani et al., 2013). Exempelvis vid axiell belastning samtidigt som sidotryck kommer både styvhet och tryckhållfasthet öka.



Figur 4.1. Arbetskurvor för tryckbelastad betong med inverkan av varierande hållfasthet (Al-Emrani et al., 2013).

4.3.2 Draghållfasthet

Vid dimensionering av draghållfasthet antas ren dragning ske (Al-Emrani et al., 2013). Om tryckhållfastheten i betongen höjs så kommer även draghållfastheten att bli högre. Draghållfastheten för betong är väldigt varierande vilket medför att det är svårt att avgöra när sprickor kommer ske.

Eftersom betongen är dåligt på att uppta dragspänningar utrustas den med armeringsstänger där den utsätts för detta (Al-Emrani et al., 2013). Stängernas uppgift är att överföra dragkrafter till betongen efter att den spruckit. Dragkrafterna överförs med hjälp av vidhäftning och kontakttryck.

4.3.3 Krympning

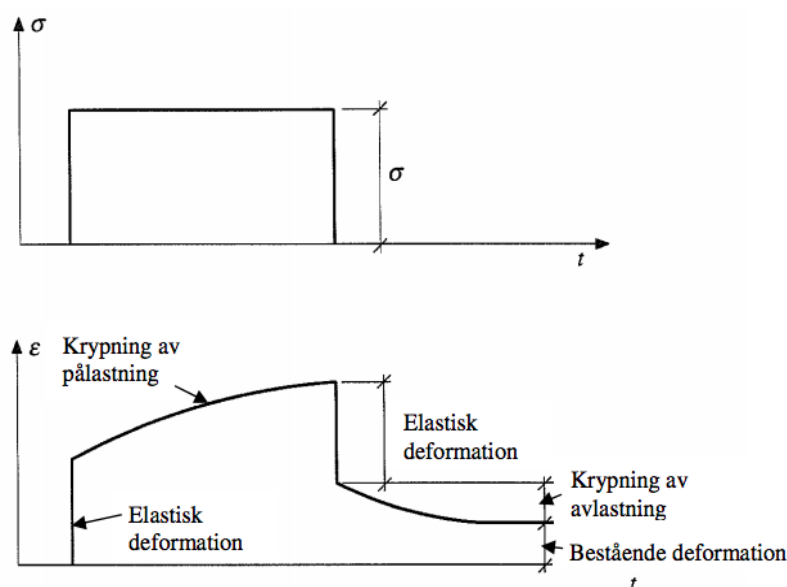
När betong utsätts för uttorkning krymper den vilket medför att sprickor eller kantresning kan uppkomma (Burström, 2007). Det är en deformation som är spänningsoberoende och som dels beror på volymminskning som orsakas av vattenavgång eller volymminskning på grund av att cementpastan drar ihop sig när vattnet försvinner från porerna. Volymminskningen medför risk för spänningsökning i betongen och därav blir risken för sprickbildning större. Detta kan ske vid väldigt liten krympning. Det största måttet på krympningen beror till största del på den relativa

fuktigheten men även på betongens sammansättning. En lägre relativ fuktighet har större inverkan på uttorkningskrympningen.

Om betongen är inspänd och krympning förhindras kommer dragspänningar att uppstå vilket ökar risken för sprickor (Al-Emrani et al., 2013). Detta gäller även vid liten krympning.

4.3.4 Krypning

Krypning är en deformation som uppkommer på grund av spänningar (Al-Emrani et al., 2013). Krypning innebär att när betongen belastas så uppkommer deformationer, dels direkt vid pålastning och dels krypdeformation som beror av tiden, se Figur 4.2. Deformationen som sker direkt vid pålastning kallas elastisk deformation och kommer att försvinna vid avlastning. Den fördröjda elastiska deformationen som ökar beroende på belastningstiden kommer även den att upphöra efter en viss tid. Däremot kommer en bestående deformation att kvarstå.



Figur 4.2. Krypning hos betong efter pålastning och avlastning (Al-Emrani et al., 2013).

4.4 Hållbarhet ur ett miljöperspektiv

Betong är ett beständigt material med en lång livstid (Svensk betong, u.å.). Under livstiden krävs lite underhåll på materialet och energibehovet är lågt då betonghus lagrar värme. Den värme som lagras frigörs när huset blir kallt vilket innebär att värmeenergi inte behövs tillföras. Det går även att återvinna betong då det består av material från naturen i form av berg och sten. Återvinning görs på restbetong, riven betong och på restmaterial från industriella processer. Det återvinns som ballast till ny betong eller som fyllnadsjord och förlorar inte sin kvalitet.

Tillverkning av cement är den process som bidrar till mest koldioxidutsläpp inom betongens kretslopp (Svensk betong, u.å.). Koldioxid frigörs i kalcineringsprocessen och vid användning av bränsle, men under betongens långa livstid binder det till koldioxid från atmosfären. Detta innebär att betong långsiktigt sett inte märkbart

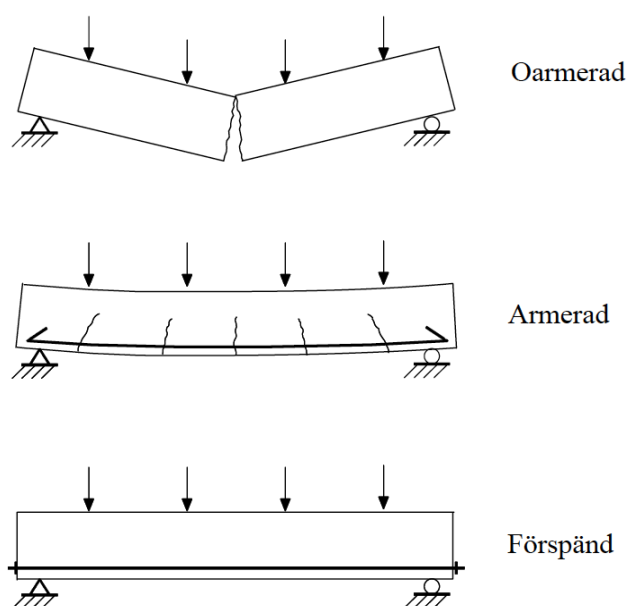
påverkar koldioxidhalten i atmosfären då det kompenserar utsläppen från framställningen. För att minska koldioxidutsläppen ytterligare vid betongtillverkning ersätts cement av andra material och fossila bränslen byts ut.

Betong kombineras ofta med armering vilket innebär att stål används (Al-Emrani et al., 2013). För ett sådant konstruktionsmaterial sker miljöpåverkan från både ståltillverkning och betongtillverkning.

Betong är ett material som kan prefabriceras vilket minskar svinn och underlättar montage på arbetsplatsen (Svensk betong, u.å.). Gjuts istället betongen på plats kan plats sparas vilket i sin tur blir mer kostnadseffektivt då fler våningsplan kan få plats.

4.5 Betongprodukter

Betongkonstruktioner delas in i tre huvudtyper: oarmerade, armerade och förspända konstruktioner (Al-Emrani et al., 2013). Dessa tre kan i sin tur tillverkas av olika typer av betong: högpresterande betong, självkompakterande betong samt lättbetong. Betong bidrar till robusta och stadiga konstruktionsdelar och i armerade och förspända betongkonstruktioner, som även kallas samverkanskonstruktioner, fungerar armeringen som en förstärkning. Figur 4.3 visar hur de olika huvudtyperna reagerar vid belastning.



Figur 4.3. Beteendet för en oarmerad, armerad och förspänd balk under en viss belastning (Al-Emrani et al., 2013).

4.5.1 Högpresterande betong

Högpresterande betong har förbättrade mekaniska egenskaper, beständighet, täthet och uttorkningsegenskaper (Burström, 2007). För att uppnå denna produkt eftersträvas ett lågt vct eller ett lågt vattenbindemedelstal som sänker den relativa fuktigheten i betongen. När fuktigheten sänks sker självuttorkning och torktiden blir kortare. Som regel skall vct eller vattenbindemedelstalet vara under 0,40. Till denna högpresterande

betong tillsätts även tillsatsmedel, ballastmaterial och tillsatsmaterial i form av silikastoft.

4.5.2 Självkompakterande betong

Vid gjutning önskas helst liten eller ingen användning av vibrering och detta är möjligt med självkompakterande betong (Burström, 2007). I denna betong tillsätts flyttillsatsmedel och filler på kalkstensmjöl vilket gör den lättrörlig och ger den goda gjutegenskaper. Att använda denna betong förbättrar arbetsmiljön för byggarbetare som slipper vibrationer och ljudpåverkan (Betongindustri, 2012). Den är också att föredra då den omsluter armeringsjärnen på ett bra sätt och ger en homogen och kvalitativ slutprodukt.

4.5.3 Lättbetong

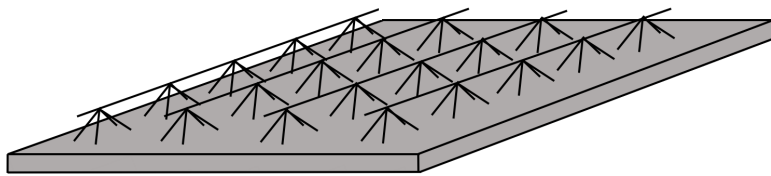
Lättbetong framställs med samma material som vanlig betong men skiljer sig i skrymdensitet (Burström, 2007). I skrymdensitet ingår hela materialets volym samt porvolymen. Lättbetong är värmeisolerande och bärande men i vilken grad bestämmer densiteten. Med en lägre densitet fås god värmeisolering men en lägre hållfasthet och tvärtom med en högre densitet. Det finns olika sorters lättbetong där den mest använda i Sverige är autoklaverad lättbetong. Denna sort framställs av vatten, antingen kalk eller cement och kiselsyrahaltigt material. Betongen som bildas är spröd och porös vilket ger god tryckhållfasthet men sämre draghållfasthet. Vilken kvalitet lättbetongen skall ha bestäms genom mängd skrymdensitet och ger olika kvalitetsgrupper.

Andra sorter av lättbetong är cellbetong, skumbetong och lättballastbetong (Burström, 2007). Lättballastbetong är den sort som används mest efter autoklaverad betong och består till en del av lättballast i form av lättklinker. Lättklinker, även kallat leca-block, tillverkas genom upphettning av kalkfattig lera och används som ett värmeisolerande material. Ersätts delar av ballasten i betongen mot lättklinker fås en lättballastbetong som är lätt, har god värmeisoleringsförmåga men låg hållfasthet. Produkten framställs på nästan samma sätt som vanlig betong och har samma beständighet.

4.6 Användningsområden

Betong är det vanligaste konstruktionsmaterialet och har många olika användningsområden (Al-Emrani et al., 2013). Bland annat används det till broar, pelare, balkar, bärande väggar, bjälklag, skal och fasader i diverse färgvariationer och form. Det är ett vanligt material att använda i den bärande stommen då den lättare uppnår stabilitet jämfört med exempelvis trä. Horisontalstabiliserande skivor används för att exempelvis klara laster i sidled från vind eller liknande.

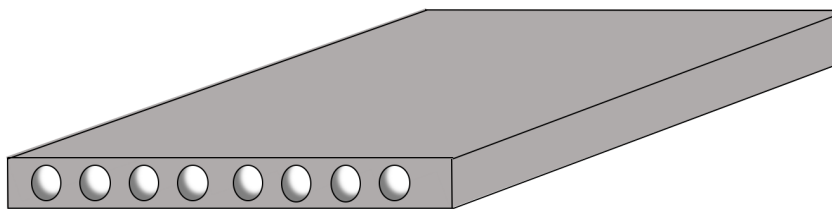
Betong är vanligt att använda som bjälklag då det ger bra stabilitet och goda ljudförhållanden (Svensk betong, u.å.). Det finns olika typer av bjälklag i betong bland annat plattbärlag, håldäcksbjälklag och massiva betongplattor. Plattbärlag innebär att en färdiggjuten tunn platta med ingjuten underkantsarmering kommer prefabricerad till bygget och sedan gjuts översidan på plats på bygget, se Figur 4.4. Beroende på bjälklagets tjocklek kan spännvidden sträcka sig mellan 8-10 m.



Figur 4.4. Plattbärlag där betong gjuts på ovanpå. Författarnas egna bild.

Massivplattan är en förspänd prefabricerad betongplatta som ger bra ljudegenskaper och stabilitet (Strängbetong, 2014). I bostadshus kan spännvidden vara upp till 12 m.

Håldäcksbjälklag är det mest kostnadseffektiva valet och även dessa element är förspända och ger långa spännvidder (Strängbetong, 2014). Figur 4.5 visar ett håldäcksbjälklag i betong.



Figur 4.5. Håldäcksbjälklag i betong. Författarnas egna bild.

Bärande väggar i betong ingår i bärsystemet och deras uppgift är att föra ner de vertikala lasterna till marken (Al-Emrani et al., 2013). En bärande vägg kan ses som en utsträckt pelare i sidled.

Betongbalkar används för att föra ner de vertikala lasterna till de vertikala stöden och stabiliserande väggsivor används för att ta upp till exempel vindlasten som påverkar byggnaden (Al-Emrani et al., 2013).

5. Korslimmat trä som konstruktionsmaterial

Det finns många olika sorters metoder baserade på trämaterial som används inom byggindustrin (Svenskt trä, 2017). Metoden att limma träplankor korsvis framtogs genom forskning på österrikiska universitetet och introducerades i Sverige under slutet av 1990-talet och benämns som Korslimmat trä eller förkortat KL-trä. Denna metod hade redan då använts under några år i centraleuropa och idag fortsätter utvecklingen i snabb takt då metoden har god potential och framställs av ett förnyelsebart råmaterial (Borgström & Fröbel, 2017). Första byggnaden där metoden användes i Sverige stod klar 2006 och i nuläget finns en leverantör av materialet, Martinsons.

Metoden lämpar sig bra för olika byggnadskonstruktioner och används för småhus, flervåningshus, broar och hallbyggnader (Borgström & Fröbel, 2017). Hållfasthets- och styvhetsegenskaperna är bra och bärförmågan är i förhållande till materialets vikt bra jämfört med andra material. Med en vidareutveckling av metoden kan KL-trä innebära möjligheter att bygga med trä på nya sätt och vara stomme till märkbart högre byggnader. KL-trä har redan visats fungera som material för hisschakt, trapphus, loftgångar etc.

På våren 2017 lanserades första KL-trä handboken i Sverige som utformades av branschorganisationen Svenskt trä, olika leverantörer och experter (Borgström & Fröbel, 2017). Handboken ger information om produkten och hjälp till konstruktörer för dimensionering. En annan hjälp inom tekniken erbjuds av Martinsons som även dem utvecklat en handbok samt en PRO-guide som är ett webbverktyg (Martinsons, u.å).

5.1 Tillverkning av KL-trä

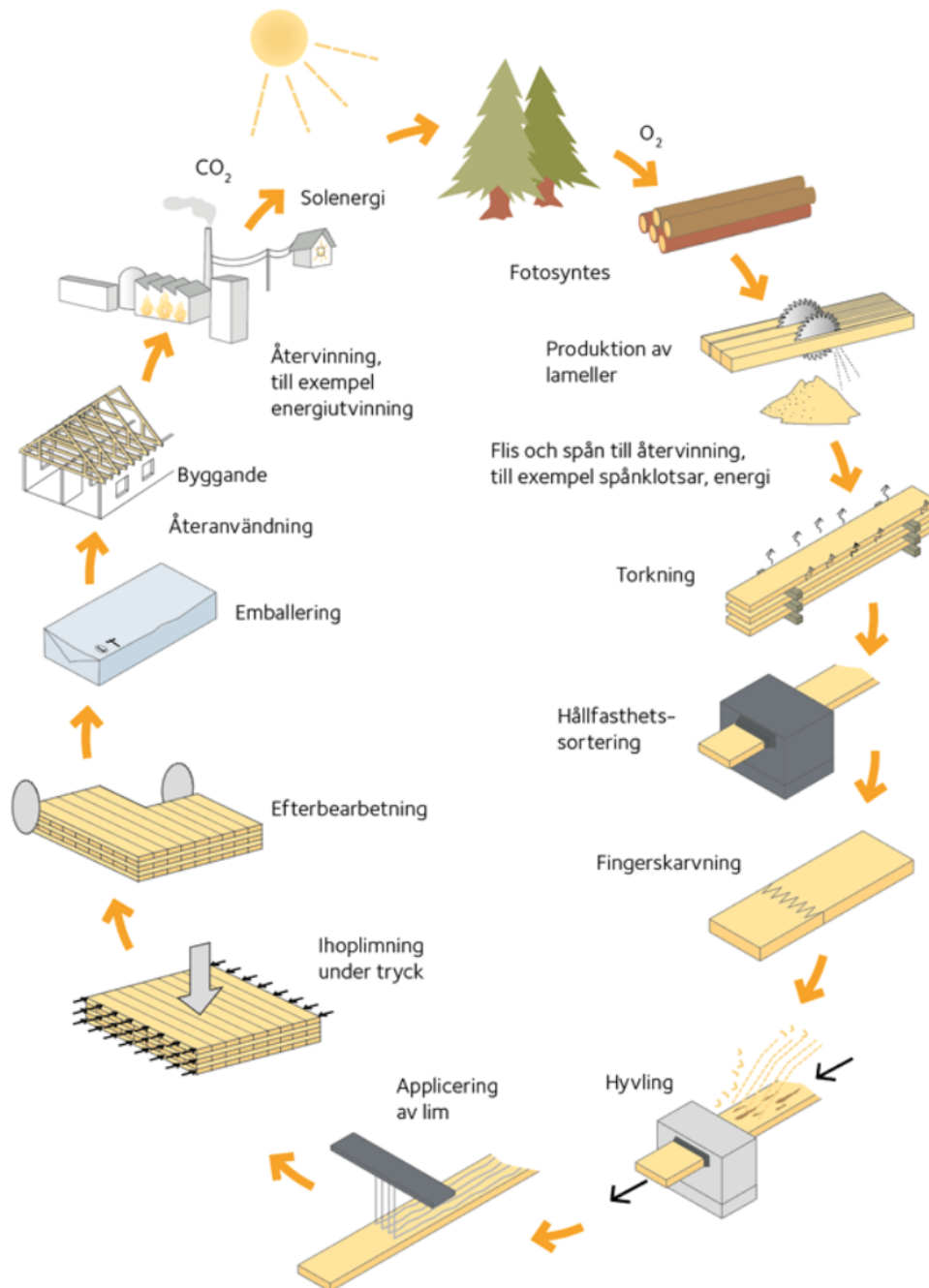
Som tidigare nämnt består KL-trä av olika skikt, minst tre stycken och maximalt sju, som är limmade till varandra (Borgström & Fröbel, 2017). Skikten förhåller sig till varandra med en vinkel på 90 grader. Lamellerna, brädorna, som utgör de olika skikten är mellan 20-60 mm tjocka, men olika tillverkare har olika standarder och hållfasthetsklasser.

Normalt i Sverige är att använda barrträd vid tillverkning av KL-trä (Borgström & Fröbel, 2017). Vid limningen bör fuktkvoten i lamellerna ligga mellan 8-15 % och detta styrs av vilket användningsområde produkten ska ha.

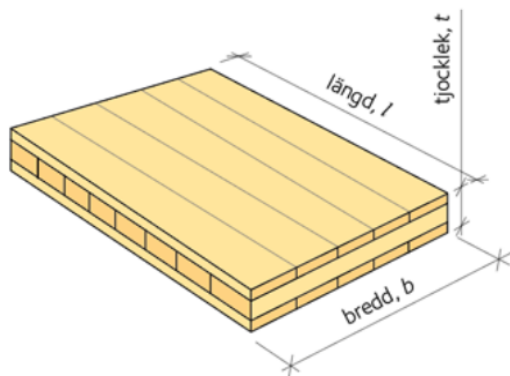
Oftast har lamellerna samma hållfasthetsklass som huvudbärriktningen och vid tillverkning används högre hållfasthet på virket där belastningarna är högre, vid ytskikten samt i huvudbärriktningen (Borgström & Fröbel, 2017).

Vid tillverkningsprocessen fingerskarvas de enskilda lamellerna vilket medför långa brädor (Borgström & Fröbel, 2017). Sedan hyvlas lamellernas, brädornas, sidor och därefter limmas de ihop i kors och under tryckbelastning. Ihoppresningen kan ske på två olika sätt, antingen genom vakuumpressning eller genom hydraulpressning. Vid vakuumpressning är trycket lågt men jämnt även där ytorna är ojämna. Den hydrauliska pressningen kan vara antingen varm eller kall. Vid den slutliga delen i tillverkningen fixas kanter till, urtag för eventuella installationer görs och andra möjliga önskemål från beställaren tillgodoses. Maximalt brukar de slutliga produkterna vara 3x16 m.

En illustration över tillverkningsprocessen visas i Figur 5.1 och en färdig produkt i Figur 5.2.



Figur 5.1. Tillverkningsprocessen av KL-trä (Svenskt trä, 2017).



Figur 5.2. En färdig produkt av KL-trä (Svenskt trä, 2017).

5.2 Materialegenskaper

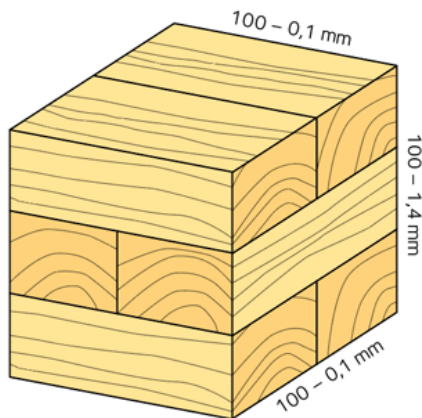
Eftersom metoden består av trä har det därför samma materialegenskaper och liknande hållfastegenskaper som tidigare nämnt i avsnitt 2.1 och 2.2 (Borgström & Fröbel, 2017). Varje bräda har olika egenskaper beroende på uppbyggnad vilket i sin tur påverkar hela komponentens slutresultat. Det som varierar jämfört med andra trämaterial är hur träskivorna limmas ihop för KL-trä och detta bidrar till andra egenskaper.

5.2.1 Termiska egenskaper

I KL-träkonstruktioner lagras värme då värmekapaciteten är hög vilket skapar ett behagligt inomhusklimat (Svenskt trä, 2017). Värmekapacitet beskriver hur mycket energi som krävs för att värma ett kilo material en grad (Borgström & Fröbel, 2017). Mängden trä som används för KL-träkonstruktioner påverkar alltså hur klimatet varierar och på grund av den höga värmekapaciteten kan klimatet hållas konstant och varmt. När byggnaden lagrar mycket värme krävs mindre energi för uppvärmning.

5.2.2 Fuktrörelser

Fuktkvoten i KL-trä påverkar hur materialet beter sig och dess volym (Borgström & Fröbel, 2017). Vid låga fuktkvoter krymper träet och vid högre fuktkvoter sväller det. För KL-träskivor blir effekten av krympning och svällning mindre tvärs fiberriktningen jämfört vanligt massivt trä då skivorna är uppbyggda med korslagd struktur se Figur 5.3. Hur stor skillnaden blir för KL-trä beror på brädornas tjocklek och antal brädsikt. Det eftersträvas normalt en fuktkvot som liknar miljön i den färdiga byggnaden och den brukar vara omkring 12 %. Efter att KL-träet använts och installerats i byggnaden kommer fuktkvoten att ställa sig i jämvikt med den relativa fuktigheten i luften.



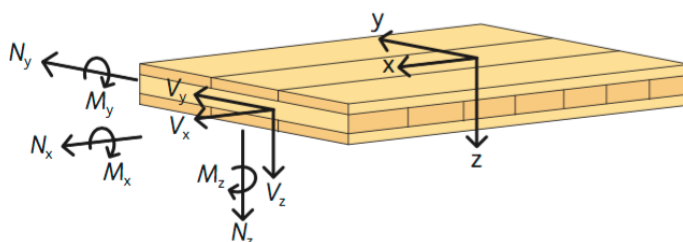
Figur 5.3. Krypning från 20 % till 10 % fuktkvot för en KL-trä kub (Svenskt trä, 2017).

5.2.3 Brandegenskaper

KL-trä är ett brännbart material men i samband med brand har materialet goda och förutsägbara egenskaper som nämnts i avsnitt 2.2. För att göra en KL-träbyggnad säkrare under ett eventuellt brandförlopp tillsätts andra material och kompletterande skikt för att få en önskad bärförmåga (Borgström & Fröbel, 2017). Det som brinner först i KL-träet bildar ett kolskikt som fungerar som ett värmeisolerande skikt vilket skyddar de inre delarna och sänker inträngnings hastigheten för branden.

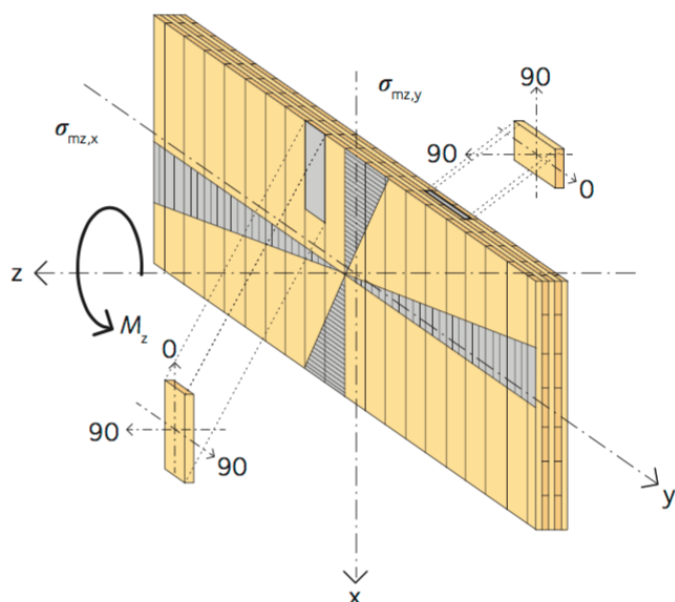
5.3 Hållfasthetsegenskaper

Genom tekniken att korslägga lamellerna reduceras olikheterna hos egenskaperna i träet (Borgström & Fröbel, 2017). Uppbyggnaden av tvärsnittet, det vill säga de ingående brädornas egenskaper, styr hur hållfastheten och styvheten på den slutliga produkten kommer bli. Referenser till x-, y-, och z-led görs för att bestämma styvhet och hållfasthet. X-riktningen löper parallellt skivans huvudbärriktning, y-riktningen går vinkelrätt huvudbärriktningen och z-riktningen löper vinkelrätt skivans plan, se Figur 5.4. En produkt av KL-trä kan fördela och ta upp laster i alla dessa tre riktningar. Om huvudbärriktningen är tydlig är det vid dimensionering möjligt att använda sig av balkteori då träskivan antas vara en balk. Tvärs huvudbärriktningen, i y-led, kan KL-träet ta större last, plattan är styvare i den riktningen.



Figur 5.4. Riktningar i x-, y- och z-led som används vid beskrivning av hållfasthet (Svenskt trä, 2017).

För styvhetsegenskaperna används beteckningarna 0 och 90 (Borgström & Fröbel, 2017). Beteckningen 0 avser en axel parallell med fiberriktningen, 90 avser en axel vinkelrätt mot fiberriktningen. Även beteckningen 090 samt 9090 finns. Den förstnämnda menar till exempel att det är skjuvning i plan längs med och vinkelrätt fiberriktningen. 9090 avser bland annat skjuvning vinkelrätt fibrerna i två riktningar. I Figur 5.5 visas ett exempel av dessa beteckningar.



Figur 5.5. Beteckningar som beaktar styvhetsegenskaperna hos ett KL-träelement (Svenskt trä, 2017).

Draghållfastheten för de yttersta lamellerna har i brottskedet en avgörande inverkan samtidigt som rullskjuvhållfastheten är kritisk i tvärsnittet (Borgström & Fröbel, 2017). Med rullskjuvbrott menas att fibrerna i träet glider mot varandra och detta leder till att skjuvdeformationerna ökar och tvärkraftsförmågan i bäringen blir lägre. Detta kan uppkomma vid skjuvspänning vinkelrätt fibrerna. För att motverka rullskjuvbrott är noggrannheten med dimensionerna viktig och vid ett förhållande mellan tjockleken och bredden på lägre än fyra finns risk för detta.

Vid jämförelse av hållfastheten för konstruktionsvirke och KL-trä så bestäms hållfastheten för konstruktionsvirke i tvärsnittet som är vekast, ofta vid en kvist eller dylikt (Borgström & Fröbel, 2017). För KL-trä är risken liten att de sämre tvärsnitten hamnar i samma snitt, detta kallas systemeffekt. Denna effekt visar sig främst i drag- och böjållfastheten eftersom flera skikt samverkar. KL-trä får därför ofta högre karakteristisk hållfasthet. För att beakta detta vid dimensionering höjs hållfasthetsparametrarna i drag och böjning med en faktor, k_{sys} .

5.4 Hållbarhet ur ett miljöperspektiv

Trä är, som nämnt i avsnitt 2.3, ett förnyelsebart material som tillhör det naturliga kretsloppet och som bidrar med lite emissioner genom hela sin livstid och tillverkning (Borgström & Fröbel, 2017). Detta innebär att det är fördelaktigt att bygga med KL-trä som metod då det har samma hållbarhetsegenskaper som vanligt trä. Det som skiljer sig är att lim används som hopfogningsmaterial men själva tillverkning av KL-trä kräver

lite energi. Restprodukter från tillverkningen i form av spån tas om hand för att skapa energi till att torka det färdiga trämaterial. På detta sätt minskar energibehovet från fossilt bränsle.

KL-trä är en produkt som har hög prefabriceringsgrad vilket underlättar montage på plats och minskar byggtiden (Martinsons, u.å.). Det är möjligt att förtillverka delar stora som 3 x 16 m. Materialet kräver heller ingen torkning vilket också bidrar till korta byggtider.

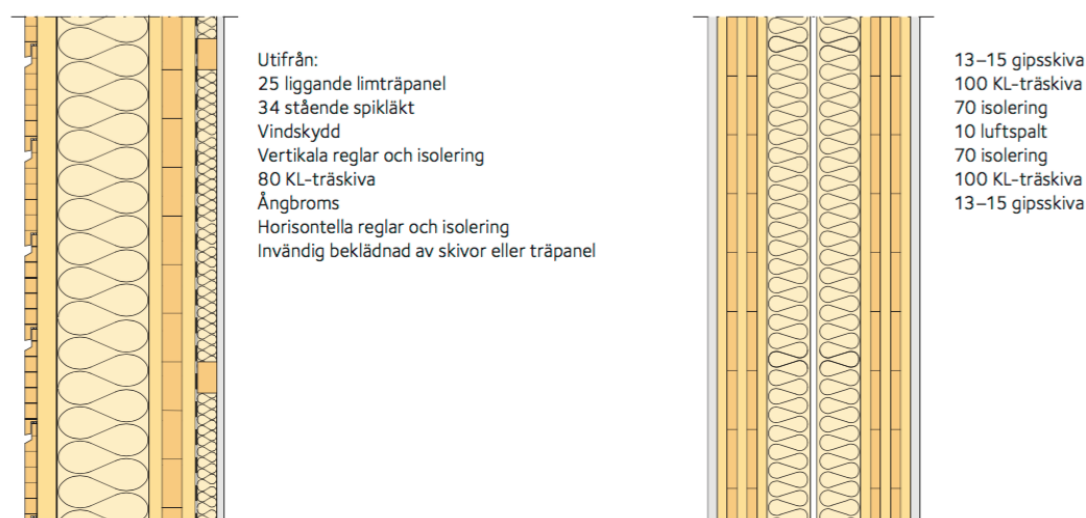
Det lagras värme i massiva träbyggnadsstommar och dessa kan konstrueras i KL-trä (Borgström & Fröbel, 2017). Detta innebär att energi sparas då behovet för att värma en sådan byggnad inte är lika stort, men då krävs det att byggnaden är tät. En byggnad i KL-trä skall vara välisolerad för att kunna ta tillvara på den lagrade värmen.

KL-träprodukter certifieras om de uppfyller ställda krav i EU:s direktiv (Arbetsmiljöverket, 2015). Denna märkning kallas CE och intygar att hälso-, säkerhets- och miljökrav uppfylls. Vidare krav för CE-märkning av just KL-trä som produkt är under utveckling (Borgström & Fröbel, 2017). Detta innebär att produktens egenskaper kommer specificeras och att kontroller kommer utföras efter en egen harmoniserad standard.

5.5 Användningsområden

5.5.1 Väggar

Väggar i KL-trä kan användas både som bärande element eller skiljekonstruktioner (Borgström & Fröbel, 2017). En vägg kan vara tillverkad av flera mindre element eller ett stort och det som är avgörande för vad som används är ofta transporterna och lyftkapaciteten på arbetsplatsen. 60 - 300 mm är standardmått för väggar i KL-trä och den kan vara konstruerad av enbart KL-trä eller kompletterad med isolering och fasadbeklädnad. Figur 5.6 visar exempel på hur en fasadvägg och en bärande innervägg kan vara konstruerade.



Figur 5.6. En bärande fasadvägg samt en bärande innervägg av KL-trä

(Borgström & Fröbel, 2017).

5.5.2 Skalkonstruktioner

Skalkonstruktioner är möjligt att tillverka i KL-trä och beroende på tillverkningen kan även böjda konstruktioner skapas (Borgström & Fröbel, 2017). Metoden har främst applicerats på takkonstruktioner då många olika former på taket kan tas fram.

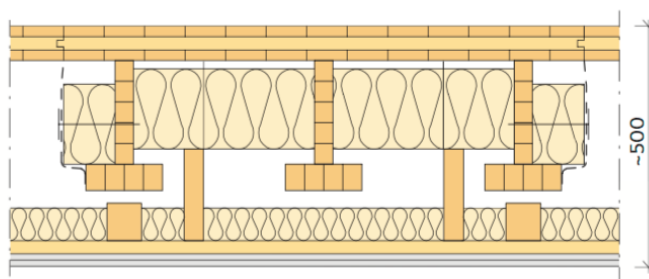
5.5.3 Bjälklag

Hur bjälklaget är utformat har inverkan på aspekter som stabilitet, bärighet och hur den står emot ljud och brand (Borgström & Fröbel, 2017). Görs utformningen på rätt sätt kan bra bjälklag skapas. I KL-trä tillverkas främst fyra olika typ av bjälklag, plattbjälklag, kassett- och håldäcksbjälklag och samverkansbjälklag. Ett bjälklag i KL-trä får ofta hög tvärstyvhet.

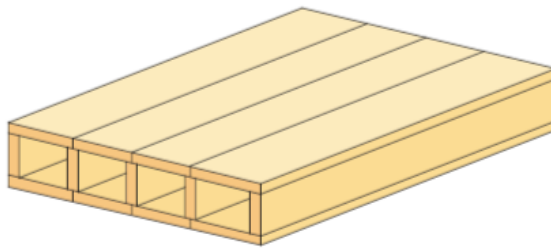
Plattbjälklaget har en platta av KL-trä där andra material kan användas som beklädnad och isolering (Borgström & Fröbel, 2017). Plattan tar upp hela lasten och för den vidare ner i den undre konstruktionen. Eftersom ljud- och brandkrav måste uppfyllas behöver plattan i de flesta fall utökas med någon konstruktion över eller under plattan. En massiv platta klarar en spännvidd upp till 7,7 m (Martinsons, 2016).

Kassettbjälklag har även den en platta i KL-trä men med skillnaden att styvheten ökas med balkar undertill (Borgström & Fröbel, 2017). Håldäcksbjälklag har en övre och undre platta i KL-trä där balkar emellan skapar hål i bjälklaget. Vid applicering av balkar av till exempel limträ kan större spännvidder uppnås och högre laster kan tas upp. Ett bjälklag förstärkt med limträbalkar kan klara en spännvidd upp till 16 m (Martinsons, 2016).

Hållrummen som uppkommer i bjälklagen fylls ofta med isolering för att kraven på ljud och brand skall uppfyllas (Borgström & Fröbel, 2017). Om undertaket frigörs från bjälklagsdelen uppnås ännu bättre ljudkrav. I Figur 5.7 och Figur 5.8 visas ett kassettbjälklag och en håldäcksbjälklag.

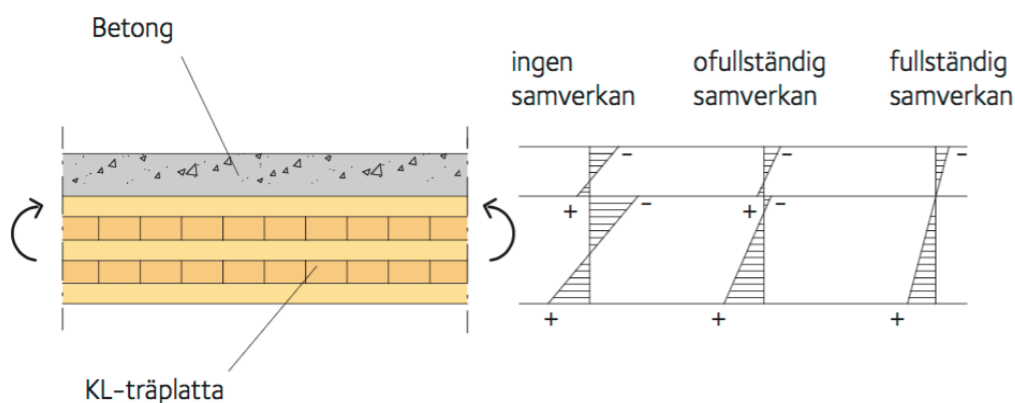


Figur 5.7. Kassettbjälklag (Borgström & Fröbel, 2017).



Figur 5.8. Håldäcksbjälklag (Borgström & Fröbel, 2017).

Samverkansbjälklag har ofta en pågjutning av betong på ovansidan plattan av KL-trä (Borgström & Fröbel, 2017). Detta bjälklag får mycket högre böjstyvhet och större spännvidder klaras av jämfört med de andra bjälklagstyperna, om samma tjocklek förutsätts. Materialen samverkar på så sätt att betongens tryckhållfasthet utnyttjas samt träets draghållfasthet. Ljudkrav uppfylls också lättare för samverkansbjälklag men däremot kan det vara svårt att få materialen att samverka fullt ut. Figur 5.9 visar ett exempel på ett samverkansbjälklag med KL-trä och betong.



Figur 5.9. Samverkansbjälklag med KL-trä och betong (Borgström & Fröbel, 2017).

Vid dimensionering av KL-träbjälklag är bruksgränstillståndet oftast avgörande där deformationer, vibrationer och svikt är viktigt att ta hänsyn till (Borgström & Fröbel, 2017). Nedböjningen av bjälklaget tillhör deformationskategorin och den påverkas dels av permanenta och variabla laster, där de variabla lasterna är mest dominerande vilket gör att nedböjningen ändras under livslängden. Krypningen i träet orsakar också en ökad nedböjning. Den totala nedböjningen blir därigenom summan av den momentana nedböjningen och nedböjningen på grund av krypning. En faktor ψ_2 , används i beräkningen för att beakta att krypningen är tidsberoende. Ett vanligt krav för bostäder är att nedböjningen inte får överskrida $L/300$. Vid beräkning av nedböjningen beaktas lasten, spännvidden, elasticitetsmodulen samt yttröghetsmomentet.

Svikt och vibrationer skapas bland annat av människor vid användandet av konstruktionen (Borgström & Fröbel, 2017). Att bjälklaget sviktat är vanligast hos lätta bjälklag. Genom frekvensavstämning kan vibrationer ses över då den lägsta egenfrekvensen ska vara högre än exciteringsfrekvensen, så inte resonans uppstår. För

att uppnå detta kan styvheten ökas, spännvidden kortas eller förhållandet mellan hållfastheten och massan på bjälklaget ökas.

Ett bjälklag i KL-trä vilar på två upplag som kan innefatta stöd längs hela bjälklaget eller punktstöd med bestämda mellanrum (Borgström & Fröbel, 2017). Är spännvidden kort är jämntjocka bjälklag bäst. Om däremot längre spännvidder önskas kan bjälklaget förstärkas med limträbalkar vilket medför att bjälklaget får ett T-tvärssnitt, som står sig bättre mot nedböjning och svikt.

KL-träbjälklag kan ha två bärriktningar och i dessa fall är plattan upplagd på tre eller fyra upplag, detta är dock inte så vanligt (Borgström & Fröbel, 2017).

5.5.4 KL-trä i övriga Europa

KL-trä är fortfarande en ny produkt på marknaden i Sverige men i övriga Europa är det ett vanligt konstruktionsmaterial. Efter introduceringen på tidigt 90-tal har denna produkt utvecklats och idag finns tillverkare på många ställen runt om i Europa (Ebner, 2017). I Österrike där produkten härstammar ifrån, finns två av de största företagen, Binderholz och Stora Enso. Dessa företag finns utspridda på ett flertal ställen i Österrike, Tyskland och Finland. Under år 2016 producerade Binderholz 145 000 kubikmeter KL-trä och deras framtidsvisioner innebär att de nästan vill dubblera den mängd fram till år 2020. Stora Enso har i princip samma framtidsvisioner och jämförs detta med Martinsons produktion i Sverige, som har en vision att tillverka 20 000 kubikmeter år 2020, syns en tydlig skillnad på utvecklingen av metoden.

I Österrike tillverkar Binderholz KL-trä som används till bjälklag, väggar och tak (Binderholz, u.å). Den färdiga KL-trä produkten kan göras av olika träslag och kan få olika kvaliteter.

6. Standarder och normer

För att säkerställa användandet och brukandet av byggnader krävs det att vissa standarder och normer uppfylls. Dessa används för att bevisa att byggnader har god bärförmåga och god inomhusmiljö som inte kommer påverka ohälsa. I Europa finns gemensamma regler i Eurokoderna och i Sverige används EKS och BBR som förklaras närmare i kommande stycken.

6.1 Eurokoder

Det finns stadgade regler och kravnivåer för bärverksdimensionering som länder i EU måste följa (Eurocodes, 2018). Dessa regler och krav benämns som Eurokoder och finns för att konstruktioner i Europa skall konstrueras på ett säkert sätt med hänsyn till bärförmåga, design beroende på material, brand och geoteknik.

6.2 EKS

I Sverige tillämpas Eurokoderna i EKS, Boverkets konstruktionsregler som beskriver nationella val som behövs för uppfylla bärförmåga, stadga och beständighet (Boverket, 2016). EKS finns för att förutsättningarna i Sverige är annorlunda jämfört med resten av Europa och då måste andra val göras på grund av annat klimat och levnadssätt samt annan geologi och säkerhetsnivå.

6.3 Boverkets byggregler

Vid byggnation i Sverige finns det allmänna råd, föreskrifter och regler från Boverkets Byggregler, BBR, som måste följas utöver Eurokoderna (Boverket, 2017). Beroende på typ av byggnad är kraven och egenskaperna som skall uppfyllas olika, men det finns även en del gemensamma. De krav som ställs på nybyggnationer och ombyggnader är att det ska finnas brandskydd, god bärförmåga, god inomhusmiljö, barnsäkerhet och tillgänglighet.

I Sverige hittas regler enskilt beskrivna under lag och rätt men de kan även återfinnas efter specifika ämne som berör en byggnad (Boverket, 2017).

6.3.1 Ljudkrav

Byggnadskonstruktioner ska konstrueras så att ljud utifrån och från angränsande rum dämpas i den mån att brukarna inte störs av ljudet (Ljudskolan, u.å.). Kraven är för stegljudsnivå samt luftljudsisolering. I bostäder är kraven högre än i lokaler som exempelvis kontor. För bostäder gäller kraven i Tabell 6.1 där ljudnivån eller ljudtrycket mäts i decibel, dB, som är en logaritmisk skala. Om normal röstnivå mäts från en meters avstånd uppgår ljudnivån till ca 60 dB. För lokaler krävs det att ljudnivån minst klarar ljudklass C, se Tabell 6.2 (Boverket, 2017). Ljudkraven i Sverige berör frekvensområdet 50 till 3150 Hz (Rasmussen & Machimbarrena, 2014). Hertz förkortas Hz och förklarar hur många tryckvågor som träffar trumhinnan under en sekund (Ljudskolan, u.å.). En tryckvåg kan ha en viss frekvens och ljudstyrkan beror på tryckvågens amplitud. Högre amplitud ger högre decibel.

Tabell 6.1. Lägsta ljudnivåskillnad samt högsta stegljudsnivå för bostäder. (Boverket, 2017).

	Ljudnivåskillnad $D_{nT,w,50}$ mellan utrymmen [dB]	Stegljudsnivå $L_{nT,w,50}$ i utrymme [dB]
Från utrymme utanför bostaden till utrymme i bostaden	52	56 ¹

Tabell 6.2. Lägsta ljudnivåskillnad samt högsta stegljudsnivå för kontor (Sjödahl, 2011).

Svensk standard SS 25268:2007

Ljudkrav för kontor Förenklad version!	A [dB]	B [dB]	C [dB]	(D) [dB]
Luftljudsisolering¹⁾, $R'_w \geq$				
- Hög sekretess	52	52	48	48
- Konferensrum, mötesrum	48	44	44	40
- Kontorsrum	40	35	35	-
- annan hyresgäst	52	52	48	48
Stegljudsnivå²⁾, $L_{nTw} \leq$				
- Större konferensrum	48	56	56	64
- Mötesrum, vilrum	60	60	64	-
- Kontorsrum	64	64	68	-
- från/till annan verksamhet	60	60	68	-

6.3.2 Brandkrav

Konstruktionsdelar ska vara klassificerade i olika brandklasser (Boverket, 2016). Det finns bland annat klasser som syftar till personskador, brandceller, bärförmåga och brandförlopp. Dimensioneringen skall utföras så att kraven uppfylls för den klass som valts så byggnaden exempelvis inte kollapsar för tidigt. Dimensioneringen ska även ta hänsyn till fullt utvecklad brand.

Det finns två olika sätt att uppnå brandsäkerhet för flervåningshus (Gustafsson, Eriksson, Engström, Wik och Serrano, 2012). Ett sätt är passivt brandskydd vilket omfattar att byggnadsdelar skall behålla sina funktioner under hela brandförloppet. Det andra är aktivt brandskydd som innebär att ett system i form av sprinkler används.

6.3.3 Fuktkrav

En byggnad skall utformas så att risk för fuktskador inte finns (Boverket, 2014). Fukt kan leda till skador på material, mikrobiell tillväxt och lukt som i sin tur kan skada människors hälsa och hygien. Beroende på material kan byggnaden få olika fuktbelastningar och skador. För att säkerställa en god inomhusmiljö med hänsyn till

fukt vid byggnation skall vissa minimikrav som finns i Boverkets Byggregler uppfyllas. Det högst tillåtna fukttillståndet är en relativ fukthalt på 75 % men för att ta hänsyn till temperatur och varaktighet behövs ett kritiskt fukttillstånd beräknas. Kritiskt fukttillstånd tar hänsyn till mögel, kemiska reaktioner, fuktrörelser och transportprocesser. Främst är det projektörens uppgift att fastställa dessa krav och utreda möjliga säkerhetsåtgärder.

6.3.4 Planbestämmelser för detaljplan

Kommunen bestämmer gränser i detaljplanen genom att studera olika områdets förutsättningar (Boverket, 2014). I området görs sedan planbestämmelser för hur mark- och vattenområden skall användas samt hur kvartermark och allmänna platser skall avgränsas från varandra. I planbestämmelsen finns bland annat olika beteckningar för hur platsen får utformas. Två exempel på beteckningar är bestämd totalhöjd som byggnaden får ha och en annan visar vilken sorts anläggning som skall byggas.

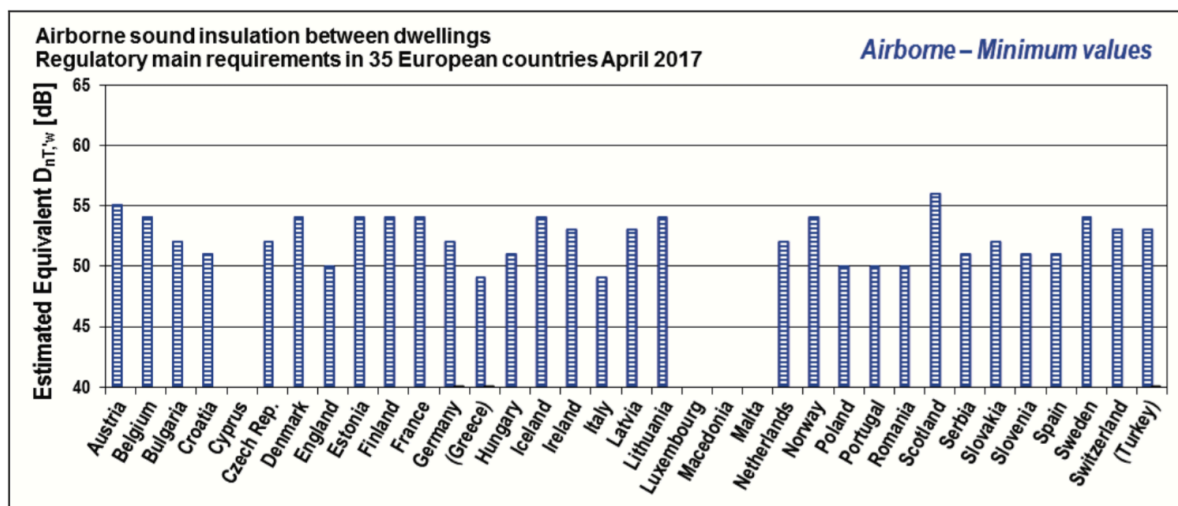
6.4 Regler och krav i Europa

Precis som i Sverige finns framtagna krav och regler rörande ljud, brand, fukt och planbestämmelser även i andra länder i Europa. Detta innebär att byggnader utformas på olika sätt från land till land och att en byggnad konstruerad i ett land nödvändigtvis inte är giltig i ett annat land. Det som är gemensamt är att samtliga länder följer Eurokoderna.

Övriga länder i Norden följer egna nationella regler i stil med BBR (Boverket, 2017). I Norge används Direktoratet for byggkvalitet samt Standard Norge och i Danmark följs regler från Danska regelverket, Bygningsreglementet.

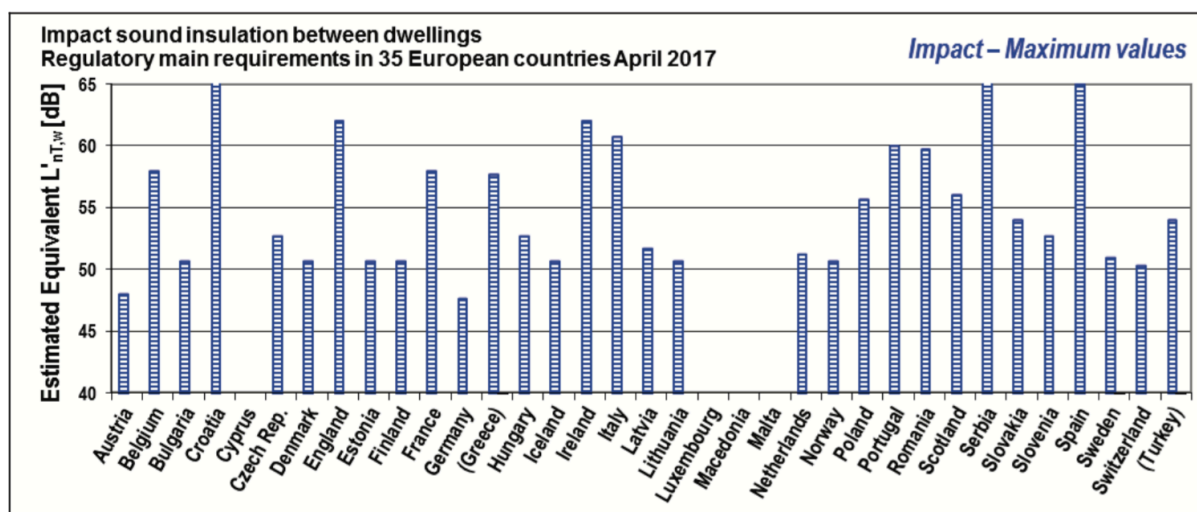
I Österrike finns en katalog som heter Dataholz innehållande beskrivande komponenter och detaljer för träkonstruktioner som är tillåtna och godkända att använda (Dataholz, 2018). Dessa data tar hänsyn till att uppfylla krav för akustik, värme och brand. Katalogen innebär att det inte krävs helt nya dimensioneringar eller projekteringar vid nybyggnation.

Det som främst varierar mellan länder är ljudkrav och Rasmussen (2017) beskriver vilka krav det finns för luftljud i europeiska länder i Figur 6.1 nedan. Här syns en jämn fördelning men högst krav har Österrike, Skandinavien, Litauen och Skottland. Normalt varierar minimikravet för luftljud mellan 50-55 dB.



Figur 6.1. Minimikrav för luftljudsisolering mellan lägenheter för olika länder i Europa (Rasmussen, 2017).

I nästa diagram, Figur 6.2, visas stegljudskrav för olika länder i Europa. Variationen för dessa krav skiljer sig i större grad och det är svårare att uppfylla krav i till exempel Österrike och Tyskland (Rasmussen, 2017). I Europa varierar kraven med 18 dB mellan länderna, från 48-65 dB. De nordiska länderna har relativt lika krav vilka är medelhöga jämfört länder som till exempel England, Irland, Serbien och Spanien .



Figur 6.2. Maximal stegljudsnivå mellan lägenheter för olika länder i Europa (Rasmussen, 2017).

Ljudkrav beskrivs med deskriptorer då länder i Europa uppskattar och värderar ljudisolering på olika sätt, se Tabell 6.3 (Rasmussen & Machimbarrena, 2014). Tabellen visar hur många länder som använder respektive deskriptor och vad de står för beskrivs i Tabell 6.4. Deskriptorer för värdering av luftljudsisolering mellan rum beskrivs antingen med reduktionstal, R , eller standardiserad ljudnivåskillnad, D_{nT} (Träguiden, 2017). Reduktionstal beskriver ljudisoleringen i en byggnadsdel och ljudnivåskillnad är också ett mått på en byggnadsdels förmåga att isolera mot ljud.

Tabell 6.3. Olika deskriptorer som beskriver luftljudsisolering och stegljudsnivå i Europa och hur många länder som följer respektive deskriptor (Rasmussen & Machimbarrena, 2014).

Airborne sound		Impact sound	
No. of countries	Descriptor	No. of countries	Descriptor
16	R'_w	18	$L'_{n,w}$
3	$R'_w + C$	1	$L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$
1	$R'_w + C_{50-3150}$	8	$L'_{nT,w}$
6	$D_{nT,w}$	2	$L'_{nT,w} + C_I$
2	$D_{nT,w} + C$	1	L'_w
1	$D_{nT,A} (\approx D_{nT,w} + C)$	?	Variants
1	$D_{nT,w} + C_{tr}$	?	Recommendations
?	Variants	?	Special rules
?	Recommendations		
?	Special rules		

Tabell 6.4. Vilka olika sorters deskriptorer och anpassningstermer som används i Europa beroende på luftljudsisolering och stegljudsnivå (Rasmussen & Machimbarrena, 2014).

ISO 717:2013 descriptors for evaluation of field sound insulation	Airborne sound insulation between rooms (ISO 717-1) ^(b)	Airborne sound insulation of facades ^(a) (ISO 717-1) ^(b)		Impact sound insulation between rooms (ISO 717-2) ^(b)
Basic descriptors (single-number quantities)	R'_w $D_{n,w}$ $D_{nT,w}$	R'_w $D_{n,w}$ $D_{nT,w}$		$L'_{n,w}$ $L'_{nT,w}$
Spectrum adaptation terms (listed according to intended main applications)	None C $C_{50-3150}$ $C_{100-5000}$ $C_{50-5000}$	None C $C_{50-3150}$ $C_{100-5000}$ $C_{50-5000}$	C_{tr} $C_{tr,50-3150}$ $C_{tr,100-5000}$ $C_{tr,50-5000}$	None C_I $C_{I,50-2500}$
Total number of descriptors	$3 \times 5 = 15$	$3 \times 9 = 27$		$2 \times 3 = 6$

Notes

(a) For facades, the complete indices for R'_w , $D_{n,w}$, $D_{nT,w}$ are found in ISO 717.

(b) For simplicity, only 1/3 octave quantities and C-terms are included in the table, although some countries allow 1/1 octave measurements for field check.

I Tabell 6.3 ovan samt Tabell 6.4 visas även i vilka fall och hur ofta anpassningstermer, C_i används. Anpassningsterm är ett tillägg på deskriptorerna som omfattar krav för ett visst frekvensspann och motsvarar referenskurvan vid ett lägre frekvensområde (SS-EN ISO 717-1, 1997). En anpassningsterm behöver tillämpas för att säkerställa god luftljudsisolering och termerna är ofta negativa värden i dB (Träguiden, 2017).

Med hänsyn till brand och fukt varierar kraven inte i lika stor omfattning i Europa. Enligt Direktoratet för byggkvalitet (Direktoratet för byggkvalite, u.å) och

Byggningsreglement (Byggningsreglementet, 2018) ska byggnader ha tillräcklig säkerhet vid händelse av brand och risk för fukt behandlas på samma sätt som i Sverige.

7. Fallstudie och resultat

I denna del utförs studier för att få en fördjupad förståelse och kunskap om vilka aspekter som påverkar val av material samt utvärderas materialens miljöpåverkan. Ett aktuellt ämne är att bygga mer hållbart, men i många skeden är detta inte den mest avgörande parametern vid materialval för nya konstruktioner. Denna utredning utförs för att förstå varför byggföretag i Sverige ofta väljer att använda gamla metoder och inte arbetar för en mer hållbar framtid. Betong och stål är fortfarande de material som används mest, men hur dessa material skiljer sig mot trä och främst KL-trä studeras (Gräns, 2015). Vilka byggtider respektive byggnadsmaterial har utreds för att skapa förståelse för hur ekonomin och samhällets exploatering påverkas. För- och nackdelar för en konstruktion i KL-trä utvärderas också för att ta reda på om denna metod gynnar miljön mer.

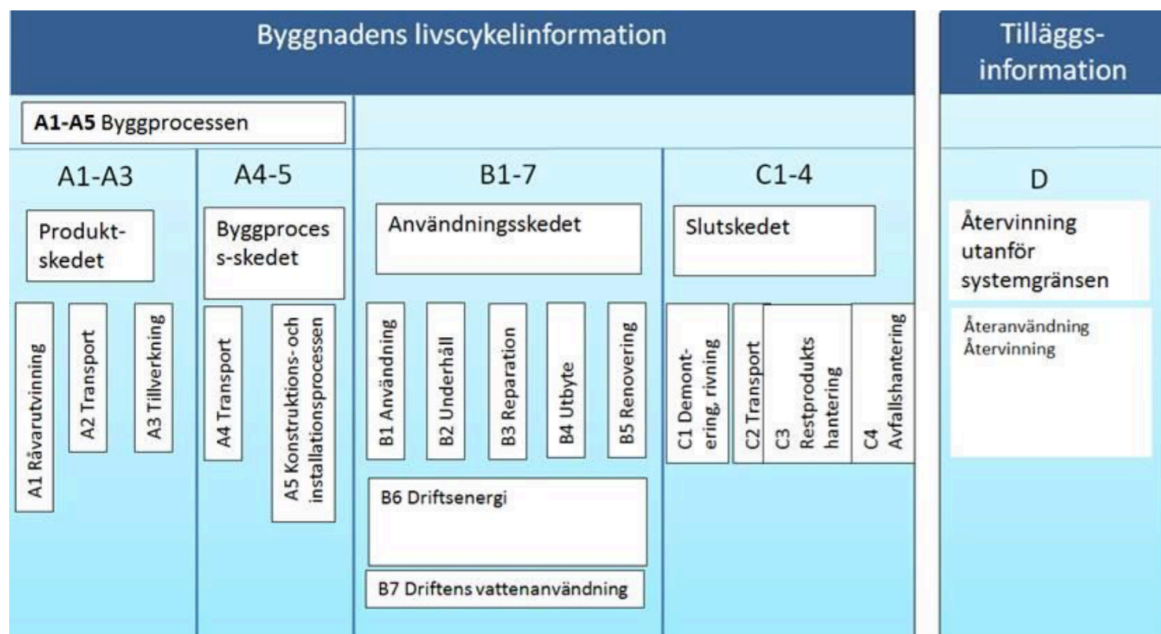
Vilken miljöpåverkan trä, stål och betong har med hänsyn till koldioxidutsläpp kommer undersökas genom datainsamling av livscykelanalyser (LCA). Detta kommer ge en tydlig bild av vilket material som gynnar miljön mest. Diverse jämförelser mellan olika stommar utförs också i denna del.

En avgörande faktor som påverkar val av material är de byggregler och krav som måste uppfyllas. Om dessa krav skiljer sig mellan Sverige och andra länder i Europa utreds för att få förståelse för om länder har olika förutsättningar vid dimensionering. I denna utredning tas hänsyn främst till bjälklag i byggnader och hur ett KL-träbjälklag behöver dimensioneras för att uppfylla krav analyseras.

Utvalda referensprojekt är JSP2 (A Working Lab) samt en pågående byggnation av sex stycken flerbostadshus i Göteborg. Dessa projekt studeras genom diverse intervjuer med ansvariga parter och granskning av ritningar. Inblick i materialval och projektering för de olika projekten utvärderas för att få förståelse för vilka parametrar som är dimensionerande. Parametrar som främst kommer beaktas är fukt, ljud, brand, bärförmåga och spännvidder.

7.1 Livscykelanalys

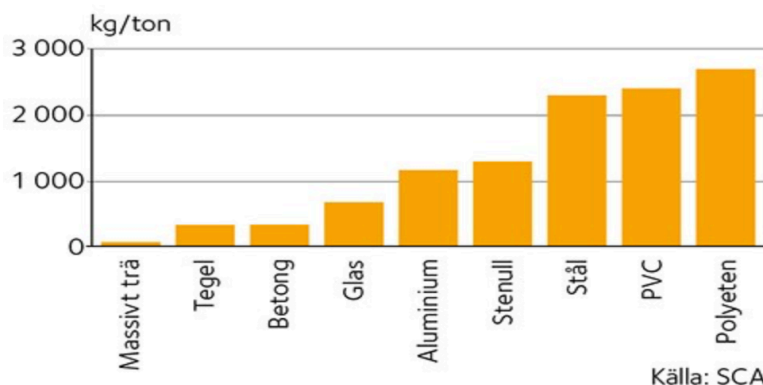
För att få förståelse och kunna visa för vilka material som påverkar miljön mest och minst, analyseras koldioxidutsläpp för respektive byggmaterial i ett livscykelperspektiv. En LCA ger en tydlig bild för företag om vilka steg och processer som utgör mest miljöpåverkan (SLU, 2018). Den största delen av klimatpåverkan för en byggnad sker enligt Martinsons (2016) vid materialframställning vilket utgör sektion A1-A3 i Figur 7.1 nedan. På grund av detta samlas data in från livscykelanalyser avgränsade för vagga-till-grind, vilket innebär att råvaruutvinning, transporter och framställning till färdig produkt studeras. Vissa jämförelser inkluderar även hela livscykeln från vagga-till-grav som innebär att studien även inkluderar byggskedet, driftsfas, återvinning och rivning, A-D i Figur 7.1.



Figur 7.1. Livscykelns kedjen för en byggnad (Sveriges byggindustrier, 2016).

Klimatet påverkas av växthusgaser som koldioxid, metan och lustgas (Lydén, 2015). Dessa gaser påverkar miljön med olika effekt och på grund av detta omvandlas gaserna till CO₂-ekvivalenter, CO₂e, för att de ska gå att jämföra. GWP, som står för global uppvärmningspotential, beskriver hur många CO₂e respektive gas bidrar med.

Syftet med insamling av data för LCA är för att kontrollera och säkerställa att trä som material har minst koldioxidutsläpp jämfört med betong och stål. Trä är som nämnt i Kapitel 2 det enda förnyelsebara materialet och dess tillverkningsprocess innebär lite utsläpp. Betong- och ståltillverkning leder till större miljöpåverkan då de ingående materialen cement och järn måste framställas, detta medför stora utsläpp av koldioxid. Bilden nedan, Figur 7.2, visar olika materials koldioxidutsläpp vid tillverkning. Vid en jämförelse av trä, stål och betong framgår det att stålets koldioxidutsläpp vid framställning är det högsta, varav träs utsläpp är en bråkdel av stålets (Svenskt trä, u.å.). Däremot har stål och betong högre densitet än trä, vilket medför att volymen stål och betong blir mycket mindre än för trä vid ett kilo material. Detta innebär att skillnaderna i koldioxidutsläpp, som syns i diagrammet, inte kommer vara lika stora utan värdena kommer jämnas ut.



Figur 7.2. Utsläpp koldioxidekvivalenter i kg per mängd material för tillverkningsfas, vaggatillgrind (Svenskt trä, u.å.).

7.1.1 Jämförelse betong och stålstomme

En jämförande LCA-studie har gjorts mellan olika alternativ för stål- och betongstomme med hänsyn till hela livscykeln (Björklund, Jönsson & Tillman, 1998). Jämförelsen innehöll sju olika typer av stommar och tog hänsyn till om byggnaderna var kontor eller bostäder. Platsgjuten betongstomme, prefabricerad betongstomme, en kombinerad stomme med stål och betong samt en ren stålstomme jämfördes med den funktionella enheten en kvadratmeter golvarea.

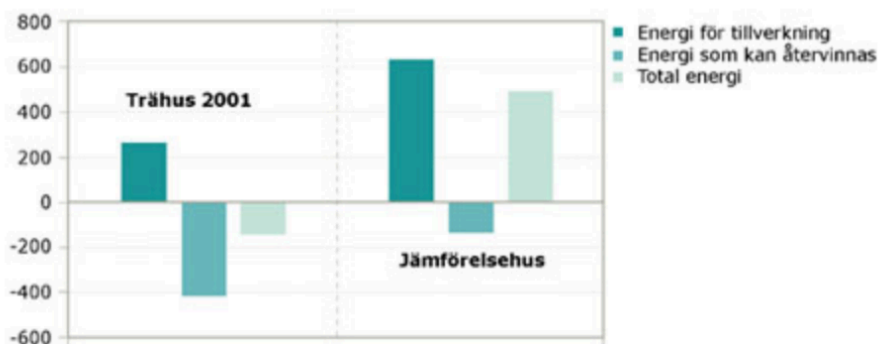
Ur stapeldiagrammen, där de olika stommarna jämfördes, framgick det att en ren stålstomme hade minst koldioxidutsläpp. Däremot påvisar stålstommen störst total miljöpåverkan när kväve- och svaveloxider samt andra ämnen beaktas. Vid hänsyn till fler ämnen visar sig betong överlag vara bättre än stål. Detta gäller alla stommar förutom den kombinerade stål och betongstommen för kontorshus, som påvisar minst utsläpp.

7.1.2 Jämförelse stål- och trähall

I ett examensarbete av Holtug och Högberg (2016) har en miljöjämförelse, med hänsyn till koldioxidekvivalenter, gjorts mellan en hall i stål och i limträ. Hänsyn till tillverkningsfasen (A1-A3), transporter och återvinning har tagits, se Figur 7.1. I undersökningen är 25 % av stålet nyproducerat och 75 % återvunnet. Resultatet visade att totala utsläppen för stålstommen skulle uppgå till 19 390 kg x CO₂e och för trästommen 6 219 kg x CO₂e, alltså genererar stålstommen tre gånger så mycket utsläpp som trästommen.

7.1.3 Jämförelse stål-/betonghus och trähus

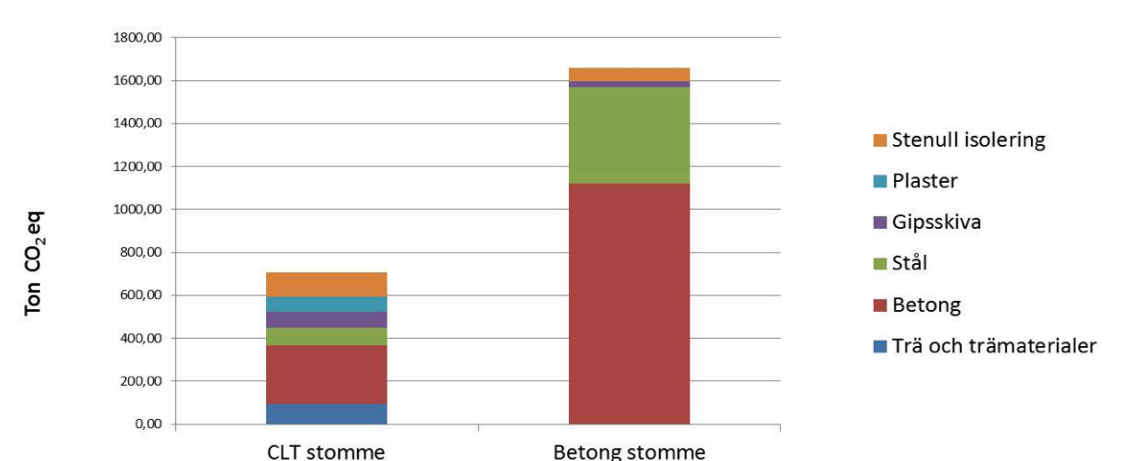
Jämförelser har gjorts mellan ett trähus och ett kombinerat stål- och betonghus. Jämförelsen visar att vid energiåtervinning för trähuset, är energimängden som återvinns större än energimängden som krävdes för framställning av huset. Däremot kunde inte lika mycket energi återvinnas för stål- och betonghuset, se Figur 7.3. En anledning är att det krävs mer energi vid framställning av stål och betong (Svenskt trä, 2003).



Figur 7.3. Diagram över energi för tillverkning samt energin som kan återvinnas (Svenskt trä, 2003).

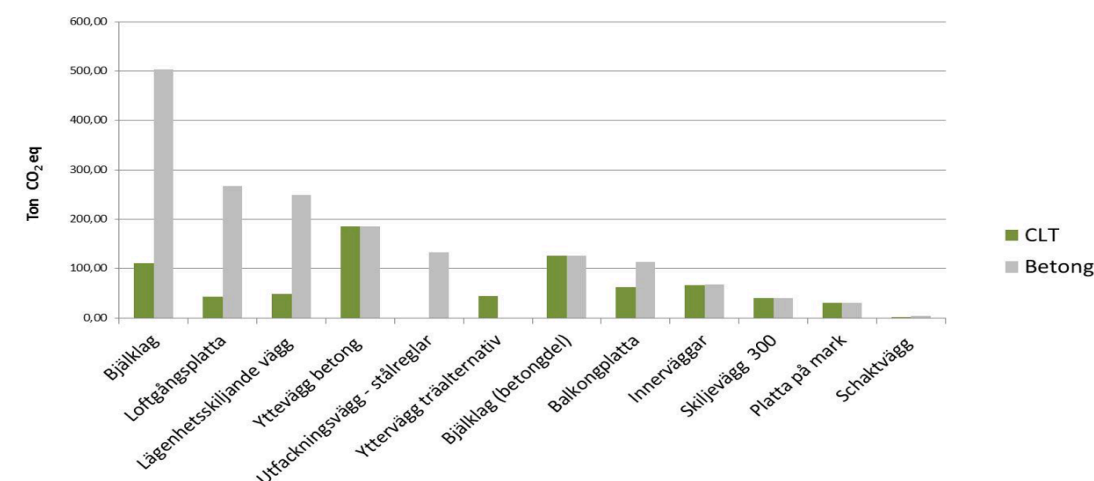
7.1.4 Jämförelse betong- och KL-trästomme

I referensprojekt 2, som beskrivs i avsnitt 7.4, gjordes en undersökning mellan en stomme i KL-trä och en i betong med avseende på koldioxidutsläpp. Syftet med studien var att ge en indikation på vilket alternativ som totalt gav minst utsläpp. Det som studerades i undersökningen var koldioxidutsläpp från materialproduktion, lagring av koldioxid under driftfasen, potential för rivning och hur mycket energi som var möjligt att utvinna vid rivning. Resultatet visar att stommen i KL-trä genererar mindre än hälften så mycket koldioxidutsläpp som betongstommen, se Figur 7.4.



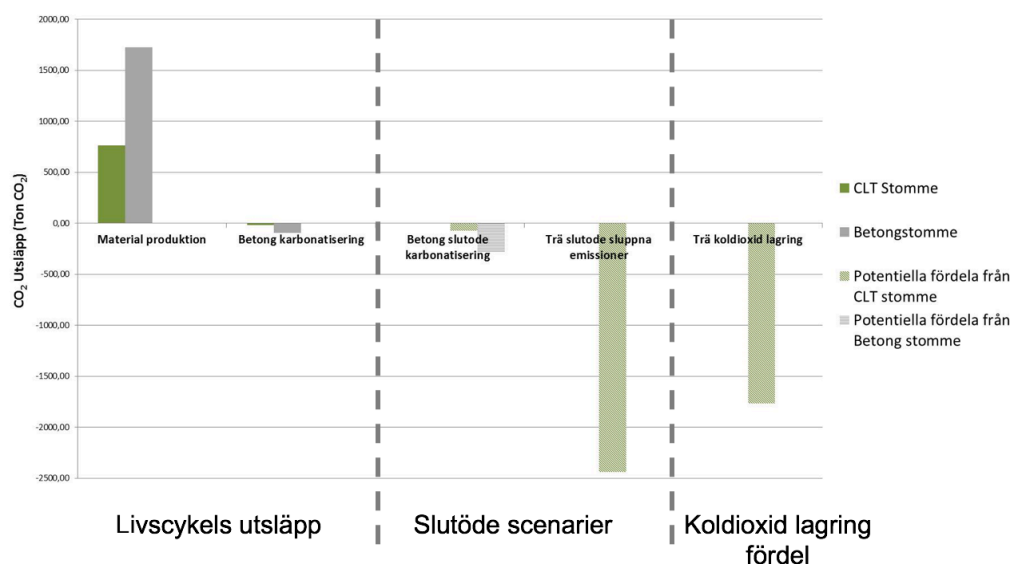
Figur 7.4. Koldioxidutsläpp från materialproduktion för en KL-trästomme och betongstomme (Integra, u.å.).

Resultatet visar även att samtliga ingående byggnadsdelar i KL-trästommen har mindre utsläpp än betongstommen, se Figur 7.5. Betongbjälklaget har fyra gånger så mycket koldioxidutsläpp och för loftgångsplattorna samt lägenhetsskiljande väggar är skillnaden mest märkbar.



Figur 7.5. Koldioxidutsläpp per byggnadsdel för en KL-trästomme och betongstomme (Integra, u.å.).

I Figur 7.6 visas träs goda lagringsegenskaper av koldioxid som är avsevärt högre än betongens. Betong lagrar koldioxid genom karbonatisering som betyder att kalciumhydroxiden i betongen reagerar med koldioxiden i luften. Det bildas då kalciumkarbonat och karbonatiseringen sker under hela betongens livslängd (Svensk betong, u.å.).



Figur 7.6. Livscykelns utsläpp samt materialens potentiella fördelar (Integra, u.å.).

Även i det ena referensprojektet JSP2, visade undersökningar där ett KL-träbjälklag jämfördes med håldäcksbjälklag att träbjälklaget hade mindre utsläpp. Träet lagrar mer koldioxid under livstiden och därför kan mer energi utvinnas vid återvinning, se avsnitt 7.3.

Dessa studier visar att trä har mindre koldioxidutsläpp än stål och betong vid tillverkning samt att träs lagringsegenskaper av koldioxid är goda, vilket gynnar livscykeln för trä. I dessa studier har endast driftsfasen tagit hänsyn till i jämförelsen mellan stål- och betonghus. Driftsfasen kan påverka en byggnads koldioxidutsläpp i stor grad och en tung byggnad lagrar värme bättre. Detta kan innebära att en träbyggnad har mer påverkan än betong under driftsfasen.

7.2 Att följa krav och regler

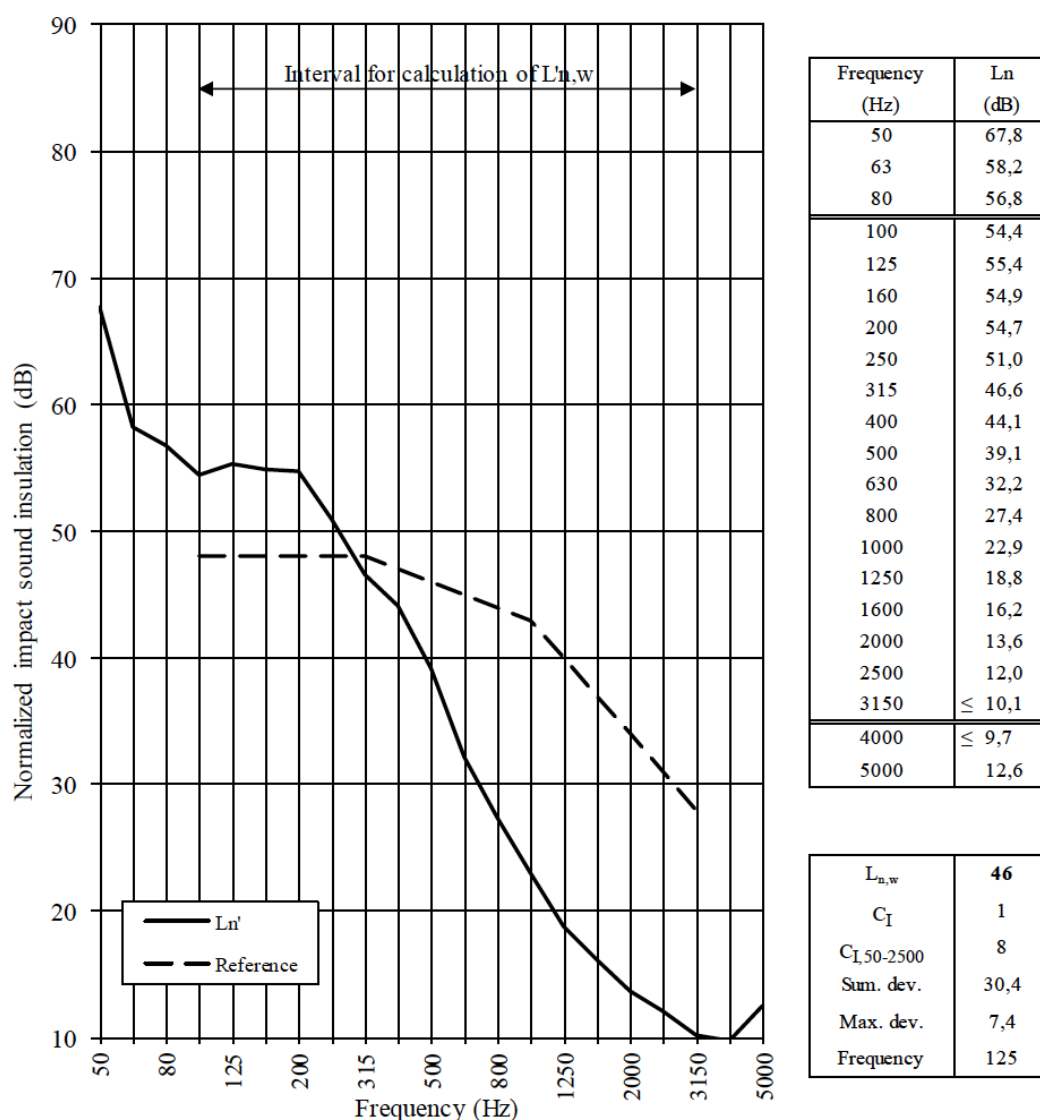
Efter utvärdering av regler och krav i europeiska länder fås en tydlig bild om vad som krävs för att en byggnad skall vara godkänd. Samtliga länder dimensionerar byggnader utefter Eurokoder vilket innebär att samma bärförmåga och stabilitet uppnås, men med hänsyn till olika nationella krav för ljud, fukt, brand och planbestämmelser blir slutresultatet olika.

Enligt Eurokoderna skall bestämd bärförmåga, stadga och beständighet uppfyllas och beroende på val av material fås olika spännvidder och nedböjning. Större spännvidder blir främst påtalade vid kontorsbyggnader och eftersträvas en stor spännvidd krävs ofta ett bjälklag i betong. Ett bjälklag i KL-trä kan högst uppnå 7,7 m spännvidd som nämnts i avsnitt 5.5.3, medan ett bjälklag i betong kan bli upp till 12 m enligt avsnitt 4.6.

7.2.1 Ljudkrav

En parameter som måste uppfyllas är ljudkrav och Sveriges krav för luftljud är jämfört andra länder i Europa medelhögt. Kraven varierar mer gällande stegljud, hela 18 dB mellan de olika länderna (Rasmussen, 2017). Detta understryker hur olika byggnadsdelar kan se ut i Europa då det krävs mer reducerande material för att uppnå högre ljudkrav. Det som främst skiljer Sverige från övriga länder är att ljudkraven gäller för frekvensområdet 50 – 3 150 Hz och inte 100 – 3 150 Hz. Vid lägre frekvenser kan människors hälsa påverkas negativt i form av trötthet och stress vilket Sverige tar hänsyn till (Christensson, 2015). Enligt Tabell 6.4 i Kapitel 6, är det endast ett land som håller sig inom detta frekvensområde vilket visar att Sverige är ensam om denna dimensionering. I övriga Europa tas endast hänsyn till lågfrekvent buller, 50-100 Hz, när det berör lätta byggnader och flytande golv (Rasmussen & Machimbarrena, 2014). I Figur 7.7 visas hur den streckade referenskurvan slutar vid 100 Hz och att den inte används för lägre frekvenser. Referenskurvan är en internationell standardiserad kurva som används för att kunna ta fram vägda reduktionstal och ljudnivåskillnader efter uppmätning (svenskt trä, 2017). Vid ett lägre frekvensområde, under 100 Hz, används spektrumsanpassningstermer utöver referenskurvan för att representera det frekvensspann som används. Forssén (Personlig kommunikation, 11 april 2018) menar att detta gör det svårare att uppfylla kraven för främst stegljudsnivå. Han nämner även att i vissa fall kan frekvensområdet utökas ner till 20 Hz i svensk standard för att minska störningar av stegljud.

Resultat: Vägd stegljudsnivå, $L_{n,w}$ och anpassningstermer, C_I & $C_{I,50-2500}$



Figur 7.7. Uppmätta stegljudsnivåer för ett bjälklag i KL-trä (Research institutes of Sweden AB, 2017).

För att uppnå de ljudkrav som finns stadgade med ett KL-trä bjälklag behöver dimensionerna för hela bjälklaget vara tjockare. Trä reducerar inte ljud lika bra som betong, vilket visas i Tabell 7.1, där lika tjocka bjälklag på 200 mm får väldigt olika reduktionstal. Luftljud för betong reduceras med 12 dB mer än för ett KL-träbjälklag. För att uppfylla krav på ett bra sätt för ett KL-träbjälklag krävs ljudförbättrande åtgärder som tilläggsisolering (Martinsons, u.å). Det är också stor skillnad på stegljudsisoleringen mellan bjälklagen och det syns att KL-träskivan genererar en högre stegljudsnivå, vilket är negativt.

Tabell 7.1. Luft- och stegljudsisolering för lika tjocka bjälklag i trä och betong (Martinsons, 2016).

Konstruktion	Luftljudsisolering, R'_w , dB	Stegljudsnivå $L'_{n,w}$, dB
200 betongskiva	54	74
200 KL-skiva	42	88

7.2.2 Brand- och fuktkrav

Byggnader skall i händelse av brand hålla för de ändamål som de är dimensionerade för och detta gäller i stort sett för alla länder i Europa. Detta visar att förutsättningarna för att uppfylla brandkrav är desamma. Brand har ofta varit en av anledningarna till att det inte byggts med trä i Sverige, men efter undersökningar av till exempel KL-trä visas goda brandegenskaper (GS-facket, u.å.). Som nämnt i avsnitt 5.2.3, brinner de yttre delarna först och bildar ett skyddande kolskikt som innebär att en del i KL-trä får goda hållfasthetsegenskaper. Detta visar att kraven för brand går att uppfylla även vid byggnation i trä.

I liknelse med brandkrav är fuktkrav desamma för många länder i Europa. Klimatet är en faktor som påverkar fukthalt och riktlinjer sätts för att motverka risk för skador och mikrobiell tillväxt. För att motverka fukt krävs många gånger våderskydd under byggskedet och detta gäller framförallt för konstruktioner i trä.

7.2.3 Krav på totalhöjd

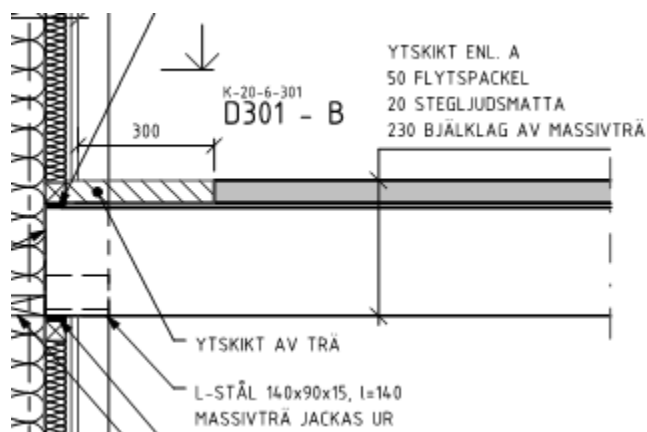
I Sverige bestäms krav på vilken totalhöjd en byggnad får ha i detaljplanen, men i andra länder sätts ibland krav på antal våningar. Detta innebär att bjälklaget dimensioneras för det som krävs utan att vara en nackdel för byggnadens höjd och antal våningar. Företag tjänar mer pengar på att ha fler våningsplan och därför missgynnar kraven på totalhöjd träbyggnation i Sverige. KL-trä kan skapa problem för våningshöjd då bjälklagen ofta är tjockare vilket leder till högre hus som överskrider detaljplanens krav på totalhöjd.

7.3 Referensprojekt 1 - “JSP2 - A Working Lab”

Forskningsinstitutet på Chalmers Tekniska Högskola håller på att utökas med en byggnad som fått namnet “A Working Lab” som tillhör Johanneberg Science Park. Denna byggnad är ett innovationsprojekt där mycket fokus berör ljud- och fuktrelaterade aspekter samt vilken miljöpåverkan byggnadsmaterialen utgör. Byggnaden har utformats och dimensionerats med KL-trä bjälklag, limträpelare, hisschakt i betong och med balkar och detaljer i stål som kopplar samman komponenterna. Konstruktörer för detta projekt är Integra som bidragit med information och material för att skapa en bild om projektets utformning och vilka aspekter som varit dimensionerande. I en intervju med ansvarig projektör Fahlström och konstruktör Hilmerisson (21 mars, 2018) kunde utformningen diskuteras och de kunde även förklara vilka aspekter som skapat problem vid projekteringen. Enligt Fahlström och Hilmerisson har bjälklaget främst dimensionerats med hänsyn till spännvidder och ljudkrav. Detta är faktorer som försvårat processen när trä har valts som material. Det som krävdes för att kunna bygga i trä var tekniska lösningar och specialtillverkade detaljer för att möjliggöra kopplingarna mellan betong, stål och trä.

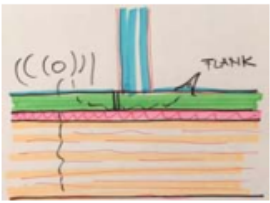
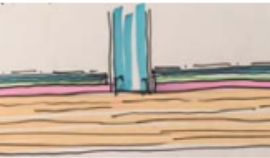
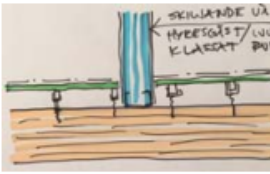
Hilmerisson har ansvarat för frågor kring akustik och i projektet testades tolv olika bjälklag innan det visade sig vilket som var mest lämpat. Olika träbjälklag, med olika pågjutningar, undersöktes i laboratorium för att se vilka ljudegenskaper de olika

bjälklagen visade med hänsyn till luftljud och stegljud. Det bjälklag som hade bäst ljudegenskaper valdes och sedan gjordes en utvärdering om dess miljöpåverkan. Ett bjälklag i endast KL-trä uppfyller inte de ljudkrav som ställs för luftljud och stegljud, utan en ljudmatta av glasull och pågjutning av flytspackel krävdes. Dimensionerna för det valda bjälklaget visas i Figur 7.8 nedan.



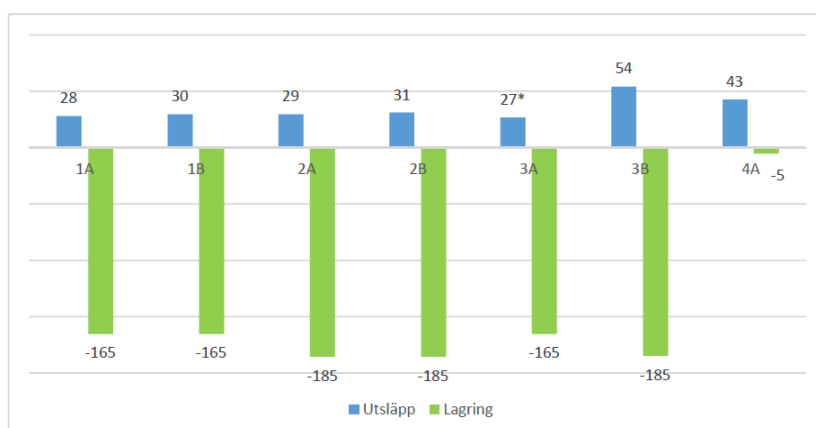
Figur 7.8. Bjälklagsuppbyggnad för JSP2 (Fahlström, 2016).

Studier och utredning för miljöpåverkan gjordes på fyra olika bjälklag, tre i trä och ett i betong. Miljöpåverkan undersöktes med hänsyn till råmaterial, transport till fabrik samt tillverkningen av materialet. Hänsyn till lagring av koldioxid utfördes också för att belysa träs kapacitet att lagra koldioxid. De olika alternativen på bjälklag som utreddes visas i Figur 7.9.

ALTERNATIV 1		UTSLÄPP (kgCO ₂ /m ²)	LAGRING (kgCO ₂ /m ²)
	1A	50 Flytspackel 25 Ljudmatta, stenull 230 KL Massivträ	12,7 1,5 13,8 -165,1
			28,0
	1B	50 Flytspackel 20 Ljudmatta, glasull 230 KL Massivträ	12,7 3,0 13,8 -165,1
			30 -165
ALTERNATIV 2		UTSLÄPP (kgCO ₂ /m ²)	LAGRING (kgCO ₂ /m ²)
	2A	2x13 Golvgips 22 Golvspån 20 Ljudmatta, stenull 230 KL Massivträ	8,4 5,8 1,5 13,8 -165,1
			29 -185
	2B	2x13 Golvgips 22 Golvspån 20 Ljudmatta, glasull 230 KL Massivträ	8,4 5,8 3,0 13,8 -165,1
			31 -185
ALTERNATIV 3		UTSLÄPP (kgCO ₂ /m ²)	LAGRING (kgCO ₂ /m ²)
	3A	70 Installationsgolv Golvbolaget 230 KL Massivträ	13,01 14 -165
			27 -165
	3B	70 Installationsgolv Kingspan 230 KL Massivträ	40,3 14 -165
			54 -185
ALTERNATIV 4		UTSLÄPP (kgCO ₂ /m ²)	KARBONA- TISERING (kgCO ₂ /m ²)
	4	30 Flytspackel 200 HDF	8 35 -5
			43 -5
			Karbonatisering 15% -5 enligt ÄF:s rapport

Figur 7.9. Olika utredningar på bjälklag för JSP2/AWL, A Working Lab, (Integra, 2016).

Enligt tabellen som gjordes för de olika alternativen i Figur 7.9, syns det att lagringen av koldioxid för alla bjälklag med trä är större än utsläppen som sker vid tillverkning och transport. Håldäcksbjälklaget har däremot större koldioxidutsläpp än vad som kan lagras, vilket även visas i Figur 7.10. De olika träbjälklagen lagrar mellan 165-185 kg x CO₂/m² och håldäcksbjälklaget 5 kg x CO₂/m².



Figur 7.10. Diagram över utsläpp respektive lagring av koldioxid för de olika bjälklagen, från råvaruutvinning till framställning av materialet (Integra, 2016).

Brand har även varit en dimensionerande aspekt enligt Fahlström och Hilmersson, då limträpelarna fått en större dimension för att klara kraven. KL-träbjälklagen har brandskyddsmålat på de ställen där träet är synligt och denna målning kommer vara i behov av underhåll för att behålla sin skyddande funktion. Detta är i princip det enda underhåll som krävs för KL-träet.

Fukt är ytterligare en aspekt som berört projektering och dimensionering för JSP2, men det är ett allmänt problem vid byggande i trä. För att hålla koll på fuktkvoten i träet på JSP2 sitter olika fuktmätare uppe som larmar när fuktkvoten hamnar över 16 %. Blir fuktkvoten högre än detta är risken för påväxt större. Dessa mätare kommer även att sitta uppe under byggnadens livstid för att hålla koll på fukttillståndet och förhindra fuktproblem.

En undersökning gjordes om ytbehandling mot fukt var nödvändigt för KL-träet. Resultatet av detta visade att träet klarade sig bättre utan ytbehandling. Fukten trängde endast in en bit i de yttersta lamellerna för bjälklaget, vilket inte skulle ha någon större inverkan på materialet.

För att minska risken för fuktproblem i JSP2, placerades limträpelarna på pelarfötter av stål. Detta gjordes för att få ett extra avstånd till golvet. Detsamma har även gjorts på ovansida pelare, se Figur 7.11. Även en fuktsäker tejp har använts för att tejpa igen alla skarvar mellan bjälklagen så att fukt ej ska tränga emellan, se Figur 7.12. Trots att mycket fokus lagts på fuktsäkerhet finns en oro för påväxt och mögelproblem i framtiden.



Figur 7.11. Upphöjd limträpelare på pelarfot av stål i JSP2. Författarnas egna bild.



Figur 7.12. Limträpelarens infästning för att undvika fuktproblem samt tejp för att undvika fuktintrång vid skarvar, JSP2. Författarnas egna bild.

Vid diskussion med Fahlström och Hilmersson om hur kunskapen om KL-trä ser ut i branschen i Sverige, berättade de att kunskap saknas hos entreprenörerna. Det finns heller inga entreprenörer i Sverige som monterar KL-trä på byggarbetsplatserna utan det gör leverantören, till exempel Martinsons. Detta gör enligt Hilmersson processen krångligare. Dock går montaget av KL-träbjälklagen snabbt eftersom bredden på bjälklagen är 2,4 m istället för 1,2 m som bjälklag i betong normalt är. Detta gör att montagetiden minskar då antal lyft halveras. En annan aspekt som är värd att pointera är att KL-träbjälklaget för detta projekt beställdes från KLH i Österrike. Martinsons

kunde inte täcka den mängd KL-trä som behövdes vilket visar att produktionen i Sverige fortfarande är låg.

7.4 Referensprojekt 2

I Göteborg pågår byggnation av ett projekt bestående av sex flervåningshus som ska uppfylla kraven för plusenergihus. Det är även ett forskningsprojekt där studier gjorts på hur människor kan bygga, bo och leva så hållbart som möjligt. Byggnaderna är konstruerade med betongstomme men utredning för en trästomme i KL-trä finns dokumenterad. Detta referensprojekt utreds för att se hur det skiljer sig från JSP2 samt varför KL-trä valdes bort som alternativ till stommen.

Projektet är konstruerat av Integra men stommen har utretts av SP. Information från ritningar och dokument har gett förståelse för vad som varit dimensionerande och varför materialval har ändrats. I en utredning togs fördelar och nackdelar för en KL-trästomme respektive en betongstomme fram. Då byggnaderna skall vara plusenergihus blir fördelarna med en betongstomme dimensionerande då det leder till minskad energitillförsel under bruksskedet.

7.4.1 Jämförelse betong- och trästomme

I utredningen mellan betongstommen och trästommen studerades olika för- och nackdelar för de två alternativen. Fördelarna med en trästomme i detta projekt hade varit att anläggningskostnaderna och transportkostnaderna blivit lägre då trästommen väger mindre. Trästommen hade även genererat större flexibilitet vid ombyggnation, kortare uttorkningstid samt bättre skydd mot köldbryggor på grund av att träet har lägre U-värde än betong. Ur miljöanalysen, som beskrivs i avsnitt 7.1 om referensprojektet, framgår det att trä har stora fördelar ur ett miljömässigt perspektiv.

Betongstommen har i sin tur en del fördelar gentemot trästommen. Bland annat minskar byggnadshöjderna för att en tung stomme reducerar ljud bättre, de stabiliserande enheterna blir färre och stabiliteten bibehålls bättre vid olyckslaster. Även skyddet mot brand blir bättre hos en betongstomme då betong är obrännbart, vilket trä inte är. En annan avgörande faktor till att betongstommen valdes har att göra med betongens lagringsegenskaper av energi. En tung stomme behöver inte värmas upp på samma sätt som en lätt vid kallare väder, utan den behåller värmen bättre. Eftersom kravet för plusenergihus skulle uppnås för detta projektet spelade denna faktorn en stor roll.

7.4.2 Utredning KL-träbjälklag

Enligt plankartan för området får maximalnockhöjd uppgå till 101,6 - 102 m över havet (möh) för de tre höga husen. För de tre lägre husen får totalhöjden enligt plankartan maximalt vara 84,3 - 84,7 möh. Med den nuvarande betongstommen i projektet uppgårnockhöjden för byggnaden till 101,7 m för de höga husen och 82,7 m för de lägre. Detta innebär att den maximala höjden är uppnådd för höghusen men ca 2 m finns tillgodo för de lägre husen. Ett bjälklag i KL-trä skulle därför kunna vara möjlig med avseende på höjdkrav för de tre lägre husen. Vidare kommer undersökas hur mycket högre ett KL-träbjälklag hade gjort totalhöjden och om det i så fall hade blivit en våning mindre i de olika husen.

Det nuvarande betongbjälklaget i bostäderna har en tjocklek på 270 mm varav 40 mm pågjutning. Våningshöjden i lägenheterna är 2 800 mm och spännvidden sträcker sig maximalt till 7,5 m i projektet, i vissa fall längre men i denna undersökning kommer endast 7,5 m spännvidd beaktas.

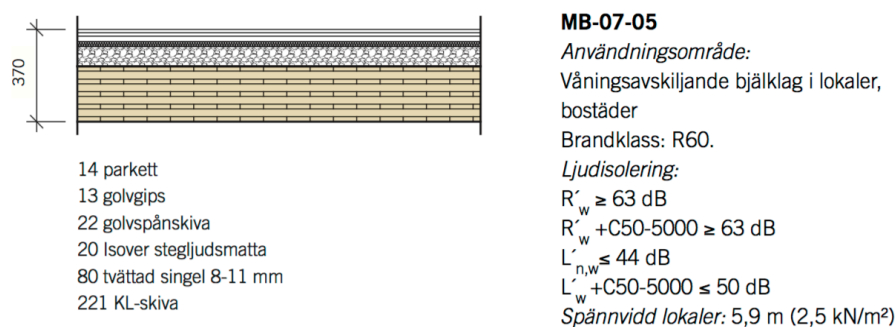
Enligt Martinsons tabell över olika KL-träbjälklag finns endast spännvidder på 7,4 m och 7,7 m med i tabellen. En iterering mellan dessa görs i Bilaga A för att få fram vad tjockleken för ett KL-träbjälklag behöver vara vid 7,5 m spännvidd. I Tabell 7.2 visas indata för itereringen och det beräknade resultatet från Bilaga A. Resultatet visar att bjälklaget behöver vara 287 mm tjockt för att klara spännvidden på 7,5 m.

Tabell 7.2. Indata och resultat för beräkning av ungefärlig tjocklek på ett KL-träbjälklag för att klara en spännvidd på 7,5 m.

Spännvidd	Tjocklek
7,4 m	280 mm
7,5 m	287 mm (Resultat)
7,7 m	300 mm

Kravet i projektet är att uppfylla ljudklass B för luftljud och stegljud. För att uppnå detta för KL-träbjälklaget behövs utöver en pågjutning exempelvis en ljudmatta. Ljudklass B innebär att luftljudsisoleringen skall vara minst 56 dB och stegljudsnivån maximalt 52 dB från ett utrymme utanför bostad till utrymme i bostad (SS 25267:2015).

I Martinsons KL-trähandbok finns några förslag på bjälklag samt vilka ljudnivåer bjälklagen uppfyller. Ett bjälklag som uppfyller ljudklass B framgår i Figur 7.13. Stegljudsnivån uppgår till maximalt 44 dB och luftljudsisoleringen till minst 63 dB, vilket innebär god marginal till ljudklass B. Däremot skiljer sig förslaget i Figur 7.13 från det 287 mm tjocka bjälklaget som behövs för att ersätta betongbjälklaget i referensprojektet. Detta bjälklag har endast 221 mm KL-trä och kompletterande material på 149 mm för att få bättre akustiska egenskaper.



Figur 7.13. Exempel på bjälklagsuppbyggnad som uppfyller ljudklass B

(Martinsons, 2016).

Eftersom KL-träbjälklaget behöver ha en tjocklek på 287 mm antas det att det kompletterande materialet kan vara något tunnare än Martinsons förslag, dels för att KL-träet är tjockare och dels för att det finns god marginal till ljudklass B. En iteration kommer tillämpas i Bilaga B för att få fram en ungefärlig tjocklek på det kompletterande materialet. Bjälklaget från Figur 7.13 och bjälklaget 1A från avsnitt 7.3 kommer att användas som referenser för att få fram en ungefärlig tjocklek. I Tabell 7.3 framgår den indata som användes vid itereringen samt det beräknade resultatet från Bilaga B. Resultatet visar att kravet för stegljud blir dimensionerande och det krävs en kompletterande tjocklek på ungefär 100 mm för att klara ljudklass B. Detta innebär att KL-träbjälklaget i referensprojekt 2 behöver vara totalt 387 mm tjockt. För exakta resultat på ljudnivåer behöver bjälklaget testas i lab.

Tabell 7.3. Indata och resultat för att få fram ungefärlig tjocklek på kompletterande material för att bjälklaget ska uppnå ljudklass B.

Byggnad	Pågjutning & Ljudmatta	Luftljud [dB]	Stegljud [dB]
JSP2 (1A)	55 mm	53	63
Referensprojekt	100 mm (Resultat)	56	52
Martinsons bjälklag	149 mm	63	44

Vid jämförelse med det nuvarande betongbjälklaget framgår det att KL-träbjälklaget behöver vara 117 mm tjockare. I Bilaga C görs en beräkning på vadnockhöjden kommer uppgå till med KL-träbjälklaget istället för betongbjälklaget.

Resultaten i Bilaga C visar att de tre höga husen får en nynockhöjd på 102,8 m respektive 102,6 m, detta innebär att det överskrider de maximala höjderna i detaljplanen som uppgår till 101,6 – 102 möh. En våning hade behövts tas bort om KL-träbjälklaget skulle kunna användas.

För de lägre husen hamnar totalhöjden på 83,2 m respektive 83,1 m. Enligt plankartan får höjden inte överstiga 84,3 m. Ett KL-träbjälklag hade därför kunnat användas i de tre lägre husen utan att höjdkraven hade överskridits eller att antalet våningar behövts minskas.

7.5 Utredning av byggtider

Samtliga byggnadsmaterial, trä, stål och betong, går att prefabricera och produktionen av olika komponenter till byggnader kan industrialiseras. En industrialisering innebär förtillverkning av komponenter som kan åstadkomma en effektivare byggprocess, god kvalitet och lägre kostnader (Boverket, 2008). Sveriges träbyggnadskansli (2018) nämner även att en industriell produktion underlättar en bra tillsyn för logistik och arbetsmiljö, vilka är aspekter som har hög prioritet i Sverige. Till följd av en

industrialiserad byggbransch gynnas arbetet på byggsplatsen och byggtiden blir kortare. Detta blir även en effekt av prefabricerade komponenter som förtillverkas på annan plats och som sedan levereras och tar form på bygget. Finns det en möjlighet till kortare byggtid kan fler bostäder produceras och områden runt omkring byggsplatsen påverkas under en kortare period. Korta byggtider gynnar även ekonomiska aspekter då snabbare avkastning fås på investeringen samt krävs det mindre utgifter för montage (Metsä Wood, 2016). Enligt GS-facket (u.å.) kan byggtiden för ett prefabricerat trähus minska med ca 50 % jämfört med ett platsbyggt trähus. Att använda trä som material menar Crocetti (2017) också är ett bättre alternativ än stål och betong då ett höghus i trä leder till ca en tredjedels byggtid.

Enligt Stehn, Rask, Nygren och Östman (2008) är tråelement lättare och normala kranar för ca 700-1000 kr/dag kan användas för elementen. För ett betongelement krävs kranar som kostar ca 700-1000 kr/tim. De menar även att transporterna blir billigare om lättare material används.

7.6 Lämpliga användningsområden för KL-trä

Från litteraturstudie och utarbetad fallstudie med tekniska jämförelser kan lämpliga användningsområden för KL-trä tas fram. Med hänsyn till krav och regler uppstår olika konsekvenser beroende på val av material och dimensioneringen blir även olika för respektive material. Efter undersökning av utvalda referensprojekt behöver inte byggnation i trä vara ett problem, utan det finns utarbetade lösningar som uppfyller de krav som sätts för en byggnad. Det som begränsar projektering med just KL-träbjälklag är spännvidder och att fler åtgärder för akustiska effekter behöver tillämpas. För att uppnå de högre ljudklasserna med ett KL-träbjälklag krävs tilläggsisolering som påverkar bjälklagets tjocklek och i sin tur totalhöjden på byggnaden. Projekteringar med KL-trä påverkas även av fukt och brand men det krävs mindre åtgärder för att uppfylla en säker byggnad enligt dessa aspekter.

För KL-träprodukter, främst bjälklag, lämpar det sig att utforma byggnader med kortare spännvidder och lägre ljudkrav. Beräknade spännvidder för ett KL-träbjälklag är maximalt 7,7 m enligt Martinsons och eftersträvas bättre ljudklasser är det enkelt att tilläggsisolera. Detta innebär att metoden lämpar sig för kontorshus med spännvidder under 7,7 m, flerbostadshus och villor. Dock kan ett kassettbjälklag i KL-trä uppnå spännvidder upp till 16 m vilket skulle gynna kontorsbyggnader. Däremot blir tjockleken större och totalhöjden högre.

Metoden har i många skeden liknande hållfasthetsegenskaper som betong och stål, vilket visar att byggnader kan konstrueras i samtliga material. Det som skiljer sig är att KL-trä inte är en aktuell metod för stora spännvidder och höga ljudklasser samtidigt som antalet våningar ska maximeras på den befintliga totalhöjden. I vissa fall vid byggnation av flervåningshus i trä kan det behövas något extra som stabiliserar byggnaden, vilket kan vara ett hisschakt i betong. Detta användes i JSP2 för att säkerställa god stabilitet.

8. Diskussion

Syftet med arbetet har varit att påvisa att trä som byggmaterial har många fördelar när det kommer till hållbar utveckling och att det finns metoder som delvis kan ersätta betong och stål som inte är förnyelsebara material. Efter studier, undersökningar och intervjuer har en djupare förståelse för främst träbyggnationer och KL-träbjälklag skapats och vilka aspekter som påverkar dess utveckling. Att visa hur koldioxidutsläpp minskar vid träbyggnation har varit en av de argumenterade anledningarna till att denna rapport tagit fart och syftet har varit att öka intresset för byggnation i KL-trä. Metoden har under en lång period använts i olika länder medan den fortfarande är under utveckling i Sverige. Vid intervjuer har det kommit fram att kunskap inom området saknas för att användningen av KL-trä ska öka och det finns en osäkerhet i att använda nya metoder. Produktionen behöver också öka så att tillgången blir större och priserna lägre.

De olika livscykelanalyserna som studerades i avsnitt 7.1, visade att trä är fördelaktigt att använda för att minska koldioxidutsläppen. Det är tydligt att detta är en viktig aspekt att ta hänsyn till då byggbranschen står för mycket av koldioxidutsläppen men det är viktigt att använda rätt material på rätt plats. Att välja klimatsmarta material behöver inte alltid vara rätt väg att gå, utan studier över byggnadens hela livstid behöver utföras. En byggnad i betong eller stål kan generera mindre utsläpp under en livstid då den kan förbruka mindre energi för underhåll under driftsfasen. Studierna i denna rapport tar dock främst hänsyn till materialframställning då det är den del i livscykeln som bidrar med mest utsläpp, detta tas upp i avsnitt 7.1. Frågan är vad som bör prioriteras, en stomme i betong som lagrar mer värme eller en stomme i miljövänligt material som trä? Med tanke på utvecklingen av förnyelsebara energikällor kan energitillförseln till drift- och brukstadiet bli mer miljövänlig. Även om trä inte lagrar lika mycket värme som betong kan energitillförseln härstamma från sol-, vind-, och vattenkraft, vilka är förnyelsebara energikällor. Detta innebär att materialvalet för stommen kan få störst inverkan på miljön och att välja en stomme i trä är mer hållbart i längden. Trä lagrar även mycket koldioxid under hela sin livstid, detta undersöktes i fallstudien där fyra bjälklag jämfördes. Kapaciteten för ett massivträbjälklag att lagra koldioxid är ungefär 30 gånger större än för ett håldäckbjälklag i betong, detta går att avläsa i Figur 7.10 i avsnitt 7.3. Detta styrker även träets fördelar med hänsyn till miljön.

I referensprojekt 2 valdes en betongstomme framför en trästomme dels för att värme lagras bättre i betong. Hade dessa material kombinerats med bottenplatta och ytterväggar i betong samt med ett bjälklag i KL-trä, skulle eventuellt värmen kunna lagras så att kravet för plusenergihus fortfarande uppfylls. Detta hade medfört en miljövänligare stomme och enligt undersökningen som beskrivs i avsnitt 7.1.4 och Figur 7.5, har ett betongbjälklag betydligt större koldioxidutsläpp jämfört med ett träbjälklag.

Efter undersökning av krav och regler i Europa framgår det att Sverige är hårt reglerat gällande akustiska parametrar vid projektering av byggnader, detta då frekvensspannet mäts ner till 50 Hz, ibland ner till 20 Hz. Frekvensområdet sträcker sig till så låga frekvenser för att människor, som nämnt i avsnitt 7.2.1, påverkas negativt av dessa, speciellt från stegljud. Det är i många fall positivt att ha hårt reglerade krav då risken för hälsoproblem minskar, däremot missgynnas träbyggandet av de hårda ljudkraven eftersom ljudet reduceras sämre i lätta konstruktioner. Det skulle nog vara ett steg i fel

riktning att lätta på ljudkraven som finns samtidigt som något behöver ändras för att främja träbyggandet.

Det är möjligt att uppnå alla ljudklasser med ett bjälklag i KL-trä men det krävs kompletterande material för att det ska vara möjligt. Resultatet gör att bjälklaget kommer bygga mer på höjden än till exempel ett betongbjälklag. För att förenkla projektering med KL-trä behöver inte ljudkraven ändras utan snarare planbestämmelserna i kommunernas detaljplaner. I en detaljplan bestäms totalhöjd för ett visst område och konsekvensen av detta är att många företag väljer material och bjälklag som bidrar till många våningar för större ekonomisk vinning. Om kraven istället hade bestämts för antal våningar anses efter ny kunskap träbyggnation gynnas då höjden inte blir ett problem att ta hänsyn till. Ett tillägg på en sådan bestämmelse hade kunnat vara krav på maximal våningshöjd för att begränsa byggnadens höjd på ett sätt. Denna lösning för utformning av byggnader finns etablerat i Linköping, Vallastaden, där större delen av byggnaderna konstruerats i trä (Vallastaden, 2017). Något som gjorde denna projekteringen enklare var att Linköpings kommun beslutade om flexibel detaljplan och att krav på antal våningar skulle följas för området istället för krav på totalhöjd. Detta visar på ett nytt tankesätt och en ny modell som behövs för utvecklingen av KL-träkonstruktioner, men även för träbyggnader generellt. Ett alternativ som gynnat utveckling av träbyggnation, om kraven i planbestämmelserna kvarstår, är att använda samverkansbjälklag som inte kräver lika tjocka bjälklag. Med ett sådant bjälklag uppfylls ljudkrav lättare och längre spännvidder fås samtidigt som byggnaden blir mer hållbar gentemot ett rent betongbjälklag.

Med hänsyn till de krav som berör brand och fukt är trä ett lite mer komplicerat material att använda än stål och betong. För stål och trä krävs mer säkerhetsåtgärder vid händelse av brand och trä är känsligast mot fukt. Detta är faktorer som påverkar valet av material då byggherrar fortfarande ser faktorerna som ett problem. Däremot finns lämpliga lösningar som innebär att trä kan uppfylla samma brandklasser som exempelvis betong och risk för fuktskador kan minimeras, det krävs bara lite mer åtgärder.

Förutom att kraven påverkar träbyggnation utvecklas KL-trämetoden långsamt i Sverige, bland annat på grund av liten produktion och litet materialutbud. Detta gör att marknaden för KL-trä i Sverige är dyr och det finns liten konkurrens. Framtidsplanerna för produktionen i Sverige är en ny KL-träfabrik i Grums, men i jämförelse med andra länder utvecklas och utökas inte produktionen i Sverige i samma utsträckning. Fortfarande behöver företag som vill tillämpa metoden vända sig till leverantörer utomlands för att utbudet i Sverige är litet. Ett alternativ som skulle kunna gynna träbyggnation är att efterlikna Österrikes katalog Dataholz som skulle underlätta projekteringen. Om denna lösning med kompletta komponenter hade utförts skulle okunskapen om att bygga i trä förhoppningsvis minska och efterfrågan öka. Det blir i sin tur mer lönsamt för KL-träleverantörerna att utöka sin produktion.

I Sverige pågår en bostadsbrist och för att minska denna är det fördelaktigt att kunna bygga med material som har hög prefabriceringsgrad och kortare byggtid. Som nämnt i avsnitt 5.4 är KL-trä en metod som kan uppfylla dessa kriterier. Enligt GS-facket (u.å.) medför inte bara träbyggnation liten miljöpåverkan utan kan även bygga bort bostadsbristen vilket visar materialets potential. Detta blir bland annat möjligt när byggtiderna kortas och kostnaderna för materialet sjunker. Industriellt träbyggande är ett vinnande koncept med tanke på bostadsbristen och ur miljösynpunkt. Hade en

katalog som Dataholz kombinerats med industriell produktion kan utvecklingen mot hållbart byggande bli ännu mer påtaglig. Som nämnts i avsnitt 7.5 ökar även kvalitén på arbetsmiljön och logistiken underlättas på byggarbetsplatsen.

Vid intervjun med Hilmeresson och Fahlström togs en annan avgörande faktor upp, kostnader. De hävdade att material ofta väljs efter ekonomiska aspekter vilket kan leda till att trä väljs bort. Detta är en faktor som inte nämnts i rapporten men som ändå har betydelse ute på marknaden. Aspekter som berör ekonomin för en byggnad är bland annat transporter, material, byggtid och löner. Om produktionen och efterfrågan ökar för ett visst material kommer priserna sjunka och ett industriellt byggande innebär att de ekonomiska aspekterna gynnas. Som nämnt i avsnitt 7.5, gällande transporter och byggtider, är trä ekonomiskt fördelaktigt.

Utvecklingen av nya material och metoder tar lång tid på grund av traditioner och osäkerhet för att testa nytt. Det som framgår från utredning i denna rapport är att om en hållbar framtid eftersträvas behöver utvecklingen av förnyelsebara byggnadsmaterial prioriteras. Trä kan i många skeden användas istället för betong och stål och därför behöver metoder som bidrar till denna utveckling tas fram och bearbetas. För att trä ska bli ett mer attraktivt och fördelaktigt byggnadsmaterial behöver vissa aspekter ses över så som regleringar i planbestämmelser, ökad förståelse om konsekvenser beroende på materialval och utbudet på Sveriges marknad. Det krävs därefter vilja att ta del av den information som finns tillgänglig i KL-trähandböcker och hos leverantörer samt mod för att bygga i trä. Sverige bör även hämta inspiration från andra länder där KL-trä är en lyckad och utvecklad metod. KL-trä är en metod som kan bidra till Sveriges framtid inom hållbart byggande på grund av att klimatsmarta konstruktioner skapas. Metoden bör användas i så stor utsträckning som möjligt och byggnader bör utformas efter den, men i vissa skeden lämpar sig metoden inte. Eftersträvas längre spännvidder kan rena KL-träbjälklag innebära för tjocka och tunga bjälklag men utvägen behöver inte alltid vara att använda betongbjälklag. För att förespråka trä kan samverkansbjälklag med betong och trä eller kasettbjälklag, som nämns i avsnitt 5.5.3, användas.

KL-trä är en bra metod som bör användas och utvecklas på den svenska byggmarknaden för att gynna en mer hållbar framtid. Mer fokus bör läggas på att våga använda materialet och samla kunskap för att frångå gamla och traditionella metoder. Utvecklingen av metoden är på god framfart och den kräver endast mer engagemang eller mindre justeringar i bestämmelser för att den skall kunna konkurrera med stål- och betongkonstruktioner i Sverige.

9. Slutsatser

Från de tekniska jämförelserna som behandlats i denna rapport kan slutsatser dras om KL-träs utveckling i Sverige, dess egenskaper samt användningsområden. Det finns för och nackdelar med metoden, men för att främja hållbar utveckling är KL-trä ett av de bättre alternativen.

Orsaker till långsam utveckling av KL-trä i Sverige:

- Lite kunskap om metoden. Vanligt att gamla metoder och traditioner används då nya anses osäkra
- Liten produktion i Sverige
- Anses vara dyrare och utbudet i Sverige är litet
- Rädsla för konsekvenser av fukt och brand

Svårigheter och problem vid träbyggnation:

- KL-trä lämpar sig sämre där långa spännvidder eftersträvas då bjälklaget behöver förstärkas med limträbalkar undertill
- Träbjälklag bygger mer på höjden för att klara spännvidder och ljudkrav vilket gör att det blir svårt att maximera antal våningar på grund av krav på totalhöjd
- Fukt kan leda till mikrobiell tillväxt och skador på träet
- Säkerhetsmarginaler vid dimensionering med hänsyn till brand behövs

Lämpliga användningsområden för KL-trä:

- Kontor med spännvidder under 7,7 meter
- Flerbostadshus
- Villor

Fördelar med att välja KL-trä:

- Består av förnyelsebart material
- Efter utförda studier för stål, betong och trä i ett livscykelperspektiv framgår det att trä är det mest miljövänliga materialet från vagga till grind
- Projekteras fler byggnader i trä kommer koldioxidutsläppen minska och mer koldioxid kommer lagras
- Hög prefabriceringsgrad
- Kortare byggtider
- Flexibelt vid ombyggnader

Utveckling av KL-trä i Sverige:

- Reglera planbestämmelser
- Mod att bygga i trä
- Hämta inspiration från andra länder
- Bättre kunskap om metoden

Referenser

Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., Johansson, P. (2011). *Bärande Konstruktioner: del 2*. (ISSN 1652-9162, nr 1). Göteborg: CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA.

Al-Emrani, M., Engström, B., Johansson, M., Johansson, P. (2013). *Bärande Konstruktioner: del 1*. (ISSN 1652-9162, nr 1). Göteborg: CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA.

Andersson, J., Hedin, J., Johansson, S., Lundin, K., Nyquist, M., Sehlå, B., Thomasson, P.O., Treiberg, T. (1992). *Stålbyggnad*. Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet

Arbetsmiljöverket. (2015). *CE-märkning*. Hämtad från <https://www.av.se>

Betongindustri. (2012). *Självkompakterande (SKB) -husbyggnadsbetong*. Hämtad från www.betongindustri.se

Björklund, T., Jönsson, Å., Tillman, A-M. (1998). *LCA of Concrete and Steel Building Frames*. (Uppsats, Chalmers Tekniska Högskola, Teknisk Miljöplanering).

Borgström, E., Fröbel, J. (2017). *KL-trä handbok: Fakta och projektering av KL-träkonstruktioner*. Stockholm: Svenskt trä

Boverket. (2008). *Industriellt bostadsbyggande – koncept och processer*. Karlskrona: Boverket

Boverket. (2014). *Inomhusmiljö - Fuktsäkerhetsarbete*. Karlskrona: Boverket

Boverket. (2014). *Inomhusmiljö - Om fukt i byggnader*. Karlskrona: Boverket

Boverket. (2014). *PBL kunskapsbanken- en handbok för plan- och bygglagen*. Hämtad från <https://www.boverket.se>

Boverket. (2016). *Boverkets konstruktionsregler, EKS 10*. Karlskrona: Boverket

Boverket. (2016). *Om regler för byggande - Om boverkets konstruktionsregler, EKS*. Hämtad från <https://www.boverket.se>

Boverket. (2017). *Boverkets byggregler - föreskrifter och allmänna råd*. Karlskrona: Boverket

Boverket. (2017). *Om boverkets byggregler för byggnader*. Karlskrona: Boverket

Boverket. (2017). *Om regler för byggande - Nordiska regler för byggande*. Hämtad från <https://www.boverket.se>

Burström, P-G. (2007). *Byggnadsmaterial: Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. Lund: Studentlitteratur AB

- Byggningsreglementet. (2018). *Afløb*. Hämtad från <http://byggningsreglementet.dk>
- Carling, O. (1984). *Träkonstruktioner: Material - Förband - Balkkonstruktioner*. Uppsala: Bjerking
- Christensson, J. (2017). *Lågfrekventa ljud gör oss trötta*. Ljudskolan. Hämtad från <http://ljudskolan.se>
- Crocetti, R. (2017). *Ställ krav på fler hus byggda i trä*. Hämtad från <http://dagenssamhalle.se>
- Direktoratet for byggkvalite. (u.å). *Generelle krav om fukt*. Hämtad från <https://dibk.no>
- Ebner, G. (2017). *CLT production in Europe: CLT production is expected to double until 2020*. Hämtad från <https://www.timber-online.net>
- Eurocodes. (2018). *About the EN Eurocodes*. Hämtad från <http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu>
- Gräns, A. (2015). *Konstruktörers syn på trä som konstruktionsmaterial - utbildning och information* (Examensarbete, Uppsala Universitet, Institutionen för skogens produkter).
- GS - Facket för skogs-, trä- och grafisk bransch. *Därför ska Sverige bygga hus i trä*. Hämtad från <https://www.gsacket.se>
- Gustafsson, Eriksson, Engström, Wik och Serrano. (2012). *Handbok - för beställare och projektörer av flervåningshus i trä*. SP rapport 2012:70. Växjö: Davidsson tryckeri
- Gyproc AB; Södra Building Systems AB (2003): *Högre hus med trästomme*. Malmö 2003, ISBN: 91-974489-1-5
- Hellers, B-G., Hertzell, T., Sjöström, J. (2003). *Helgjutet: En bok om betonghus gjutna på byggplatsen*. Lund: Wallin & Dalholm Boktryckeri AB
- Holtug, E., Högberg, R. (2016). *Skog eller Gruva: En kostnads-och miljöjämförelse mellan limträ och stål som bärande stomme i en hallbyggnad*. (Examensarbete, Uppsala universitet, Institution för teknikvetenskaper).
- Jernkontoret. (2017). *Processernas miljöpåverkan*. Hämtad från <https://www.jernkontoret.se>
- Jernkontoret. (2018). *Slutprodukter av stål*. Hämtad från <https://www.jernkontoret.se>
- Johansson, L., Samuelsson, S. (2000). *Stora träkonstruktioner*. Stockholm: TRITA - ARK - Forskningspublikation
- Kellner, J. och Stålbom, G. (2001). *Byggnad och miljö: Om hälsa, välbefinnande och hållbar utveckling*. Stockholm: Författarna och Byggförlaget

Kemikalieinspektionen. (2018). *Information om impregnerat virke*. Hämtad från <https://www.kemi.se>

Ljudskolan. (u.å). *Vad är decibel och frekvens?*. Hämtad från <http://www.ljudskolan.se>

Lydén, P. (2015). *GWP - Global warming potential*. Hämtad från <http://www.klimatordlista.se>

Martinsons. (u.å.). *Formstabil, starkt och enkelt att montera*. Hämtad från <https://www.martinson.se>

Martinsons. (u.å). *KL-trä: Pro-guide KL-trä*. Hämtad från <https://www.martinson.se>

Martinsons. (2016). *Martinsons handbok i KL-trä*. Hämtad från <https://www.martinson.se>

Martinsons. (2016). *Material och byggskede ger störst klimatpåverkan*. Hämtad från <https://www.martinson.se>

Melin Lundgren, N. (2017). *Stor miljöpåverkan från bygg- och fastighetssektorn*. Byggindustrin. Hämtad från <http://byggindustrin.se>

Metsä Wood. (2016). *Kortare byggtid med prefabricerade träelement*. Hämtad från <http://metsawood.com>

Nationalencyklopedin. (2018). *Legering*. Hämtad från <https://www.ne.se>

Nationalencyklopedin. (2018). *Stålframställning*. Hämtad från <https://www.ne.se>

Nationalencyklopedin. (2018). *Valsning*. Hämtad från <https://www.ne.se>

Naturskyddsföreningen. (2018). *Faktablad: Energikällor: Om förnybara och icke förnybara energikällor*. Hämtad från <https://www.naturskyddsforeningen.se>

Naturvårdsverket. (2017). *Förnybar energi*. Hämtad från: www.naturvardsverket.se

Naturvårdsverket. (2018). *Beräkna dina klimatutsläpp*. Hämtad från: www.naturvardsverket.se

Rasmussen och Machimbarrena. (2014). *Building acoustics throughout Europe - Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe*. COST Action TU090. Hämtad från file:///C:/Users/1st/Downloads/Part_I.pdf

Rasmussen, B., & Machimbarrena, M. (2014). *Existing Sound Insulation Performance Requirements and Classification Schemes For Housing Across Europe*. In COST Action TU0901 – *Building acoustics throughout Europe. Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe* (pp. 31-54). DiScript Preimpresion, S. L..

Rasmussen, B. (2017). *Sound insulation in multi-storey housing in Europe – Situation Anno 2017 and needs for upgrading*. In S.K.Tang, L.Cheng, & C.W.Law (Eds.), *Proceedings of Inter-Noise 2017* (pp. 3783-3792). Hong Kong: The Hong Kong Institute of Acoustics (HKIOA).

Research institutes of Sweden AB. (2017). *Bestämning av stegljudsnivå för bjälklag enligt EN-ISO 10140-3- Provning i laboratorium*. Borås.

Saint-Gobain Sweden AB, Gyproc. (2017). *Trapetsprofil*. Hämtad från <https://www.gyproc.se>

Sjödahl, E. (2011). *Akustisk dimensionering*. Hämtad från <http://www.kstr.lth.se>

Sjunnesson, J. (2005). *Life Cycle Assessment of Concrete* (Examensarbete, Lunds Universitet, Institutionen för teknik och samhälle).

Sköld, S. (2017). *Trä är generellt inte miljövänligare än betong*. Fastighetstidningen. Hämtad från <http://fastighetstidningen.se>

Stehn, L., Rask, L-O., Nygren, I., Östman, B. (2008). *Byggandet av flervåningshus i trä: Erfarenheter efter tre års observation av träbyggandets utveckling*. (issn:1402-1536, nr 18). Luleå tekniska universitet. Hämtad från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:997192/FULLTEXT01.pdf>

Strängbetong. (2014). *Håldäck*. Hämtad från <https://www.strangbetong.se>

Strängbetong. (2014). *Massivplattan*. Hämtad från <https://www.strangbetong.se>

Stålbyggnadsinstitutet. (2004). *Stålbyggnad*. Stockholm: Ekonomiprint

Svenskt betong. (u.å.). *Hållbarhet: Betong och CO2*. Hämtad från <https://www.svenskbetong.se>

Svenskt betong. (u.å.). *Hållbarhet: Återvinning*. Hämtad från <https://www.svenskbetong.se>

Svenskt betong. (u.å.). *Karbonatisering*. Hämtad från <https://www.svenskbetong.se>

Svenskt näringsliv. (2014). *Stålintustrin*. Hämtad från <http://miljonytta.se>

Svenskt trä. (u.å.) *Att välja limträ: Ytbehandling*. Hämtad från <https://www.svenskttra.se>

Svenskt trä. (u.å.) *Från timmer till plank: Avverkning*. Hämtad från <https://www.svenskttra.se>

Svenskt trä. (u.å.) *Trä som material: Egenskaper hos barrträd: Trädets uppbyggnad och struktur*. Hämtad från <https://www.svenskttra.se>

Svenskt trä (2003). *Konstruktionsexempel: Bjälklag*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Aktuellt: Svenskt trä lanserar KL-trä handbok*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Brandstatistik för flervåningshus*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Konstruktion: KL-träkonstruktioner: Icke bärande innerväggar*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Ljudisolering, reduktionstal, ljudnivåskillnad och stegljudsnivå*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Materialet trä: Barrträdets uppbyggnad: Cellstruktur*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017.) *Materialet trä: Barrträdets uppbyggnad: Kvistar*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Materialet trä: Barrträdets uppbyggnad: Årsringar: Vårved och sommarved*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Materialet trä: Träbaserade produkter: Konstruktionsvirke*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Materialet trä: Träets egenskaper och kvalitet: Mekaniska egenskaper: Träets styrka och styvhet*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Miljö: Miljöeffekter: Träprodukters kretslopp*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Miljö: Miljöeffekter: Återvinning av träprodukter*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Träets egenskaper och kvaliteter: Brandegenskaper*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Träets egenskaper och kvaliteter: Värmegenskaper*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Svenskt trä. (2017). *Återvinning av träprodukter*. Hämtad från <http://www.traguiden.se>

Sveriges lantbruksuniversitet. (2018). *Vad är livscykelanalys?* Hämtad från <https://www.slu.se>

Skogsindustrierna. (u.å.). *Återvinning och återanvändning*. Hämtad från <http://www.skogsindustrierna.se>

Skogs Sverige. (u.å.). *Vedens uppbyggnad: Växtvridenhet*. Hämtad från <https://www.skogssverige.se>

Swedish Standards. SS 25267:2015. *Byggakustik - Ljudklassning av utrymmen i byggnader - Bostäder*. Stockholm. SIS Förlag AB. Hämtad från <https://enav.sis.se>

Uppfeldt, B. (2008). *Stålbyggnad*. Stockholm: Stålbyggnadsinstitutet

Vallastaden. (2017). *Stadsdelen: Tätt, grönt och blandat*. Hämtad från <https://vallastaden2017.se>

Åstedt, B. (2009). *Bjälklag*. Hämtad från www.stalbyggnadsinstitutet.se

Åstedt, B. (2009). *Stålets egenskaper*. Hämtad från www.stalbyggnadsinstitutet.se

Återvinning stockholm. (2018). *Farligt avfall - Lim, målarfärg och lack*. Hämtad från <http://www.atervinningstockholm.se>

Bilaga A - Iterering för bjälklagstjocklek

Tabell 7.2. Indata för beräkning av ungefärlig tjocklek på bjälklaget för att klara en spännvidd på 7,5 m.

Spännvidd	Tjocklek
7,4 m	280 mm
7,5 m	X mm
7,7 m	300 mm

$$7,7 - 7,4 = 0,3 \text{ m}$$

$$300 - 280 = 20 \text{ mm}$$

skillnad mellan 7,5 och 7,4:

$$\frac{X - 280}{100} = \frac{20}{300}$$

$$\mathbf{X = 287 \text{ mm}}$$

Resultatet från itereringen visar att bjälklaget behöver vara 287 mm tjockt för att klara spännvidden på 7,5 m.

Bilaga B - Iterering för pågjutning och ljudmatta

Tabell 7.3. Indata för att få fram ungefärlig tjocklek på kompletterande material för att bjälklaget ska uppnå ljudklass B.

Byggnad	Pågjutning & Ljudmatta	Luftljud [dB]	Stegljud [dB]
JSP2 (1A)	55 mm	53	63
Referensprojekt	XX mm	56	52
Martinsons bjälklag	149 mm	63	44

Iterering: Luftljud

$149 - 55 = 94 \text{ mm}$ (skillnad i tjocklek på pågjutning mellan JSP2 och Martinsons bjälklag).

$63 - 53 = 10 \text{ dB}$ (skillnad i ljudnivå)

$$\frac{94}{10} = 9,4 \text{ mm/dB}$$

skillnad mellan referensprojekt och JSP2:

$$56 - 53 = 3 \text{ dB}$$

$$3 \times 9,4 = 28,2 \text{ mm}$$

$28,2 + 55 = \mathbf{83,2 \text{ mm}}$ (pågjutning för att klara luftljud).

Iterering: stegljud

$$63 - 44 = 19 \text{ dB}$$

$$\frac{94}{19} = 4,95 \text{ mm/dB}$$

$$63 - 52 = 11 \text{ dB}$$

$$11 \times 4,95 = 54,4 \text{ mm}$$

$54,4 + 55 = \mathbf{99,4 \text{ mm}}$ (pågjutning som krävs för att klara stegljud).

Resultatet visar att kravet för stegljud blir dimensionerande, alltså krävs en kompletterande tjocklek på ungefär 100 mm för att klara ljudklass B. Detta innebär att KL-träbjälklaget i referensprojekt 2 behöver vara totalt 387 mm tjockt.

Bilaga C - Ny Totalhöjd med KL-träbjälklag

Vid jämförelse med det nuvarande betongbjälklaget framgår det att KL-träbjälklaget behöver vara 117 mm tjockare. Nedan görs en beräkning på vadnockhöjden kommer uppgå till med KL-träbjälklaget istället för betongbjälklaget.

Ett av höghusen har nio våningar och de andra två tio våningar där sex våningar är från entréplan och uppåt för alla tre husen. Tiovåningshusens nedersta våning ligger på nivå 68,9 m och den översta på 96,5 m. Byts bjälklaget ut mot KL-träbjälklaget kommer byggnaden öka i höjd. Nedan visas beräkning på vilka de nyanockhöjderna blir.

$$96,5 + (0,117 \times 9) = 97,55 \text{ m}$$

Takvåningens höjd läggs sedan på och det innebär attnockhöjden kommer hamna på nivå 102,75 m, vilket överskrider detaljplanen med ca 1 m.

Höghuset med nio våningar kommer hamna på nivå:

$$96,5 + (0,117 \times 8) = 97,44 \text{ m}$$

Nockhöjden hamnar då på 102,64 m vilket också överstiger detaljplanen.

Bland de lägre husen har två hus fem våningar och ett 4 våningar. Översta plan ligger för samtliga hus på nivå 81,5 m. Beräkning nedan visar vad ny höjd pånocken kommer att bli.

$$81,5 + (0,117 \times 4) = 83,17 \text{ m} \text{ för husen med fem våningar och } 83,05 \text{ m för fyravåningshuset.}$$

Enligt plankartan får höjden inte överstiga 84,3 m. Ett KL-träbjälklag hade därför kunnat användas i de tre lägre husen utan att höjdkraven hade överskridits eller att antalet våningar behövts minskas. Däremot klarar inte höghusen höjdkraven och en våning hade behövts tas bort om KL-träbjälklaget skulle kunna användas.