



**CHALMERS**

# **Demonterbara trä-element för ökat återbruk inom byggbranschen**

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Samhällsbyggnadsteknik

ELIAS PALMÉR

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK**  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

---

Göteborg, Sverige 2021  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



EXAMENSARBETE ACEX20

# Demonterbara trä-element för ökat återbruk inom byggbranschen

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

ELIAS PALMÉR



**CHALMERS**

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2021

Demonterbara trä-element för ökat återbruk inom byggbranschen

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

ELIAS PALMÉR

© ELIAS PALMÉR, 2021

Examensarbete ACEX20

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Chalmers tekniska högskola 2021

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Göteborg 2021

Demonterbara träelement för ökat återbruk inom byggbranschen

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Samhällsbyggnadsteknik*

ELIAS PALMÉR

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

## Sammanfattning

Att byggsektorn står för ungefär en tredjedel av allt avfall som genereras per år i Sverige är en illa dold hemlighet. Även om trä anses vara ett miljövänligt material som binder koldioxid under sin livscykel bidrar trä-element till den årliga avfallsgenereringen. En implementering av demonterbara trä-element skulle bidra med ett ökat återbruk och således mindre genererat byggavfall.

Detta examensarbete sammanställer vilka metoder som används för att sammanfoga trä-element i byggnader med trästomme och hur dessa kopplingar kan modifieras för att lättare kunna demonteras och återanvändas. Befintliga kopplingar mellan KL-element har utvärderats och utefter befintliga kopplingar har tre förslag på nya kopplingar tagits fram med hjälp av CAD och fysiska prototyper i plywood med syftet att vara lättare att demontera och bidra till ökat återbruk.

Demonterbara byggnader är inget nytt koncept, en undersökning i form av en litteraturstudie har utförts för att utvärdera vilka egenskaper en byggnad behöver ha för att kunna demonteras och dess komponenter återbrukas på ett rationellt sätt. Litteraturstudien redovisar vilka krav som ställs på en byggnad samt vilka verktyg projektörer kan använda sig av för att underlätta demontering och återbruk.

Nyckelord: KLT, KL-trä, återbruk, cirkulär ekonomi, demontering, prefabricering, hållbarhet, timmerhus.

Detachable connections for circularity of timber buildings

*Degree Project in the Engineering Programme  
Civil and Environmental Engineering*

ELIAS PALMÉR

Department of Architecture and Civil Engineering

Division of construction management

Chalmers University of Technology

## **Abstract**

The construction sector accounts for almost a third of all waste generated in Sweden each year. Even if timber is considered being environmental friendly since trees absorb carbon dioxide during its life cycle, but timber still counts as waste when discarded. Detachable timber elements would contribute to increased recycling of building elements and thus less waste is generated and less resources are needed.

The report compiles which connections are currently used between timber elements and how these connections can be modified to allow for easier disassembly when deconstructing the building. New connections that allow for increased disassembly and reuse of the elements have been modeled with help of 3D software and prototypes to illustrate the connections and demonstrate their technical characteristics have been made.

A literature study has been made to examine which types of buildings would benefit the most being constructed by detachable elements and therefore gain increased adaptability during its life cycle. A building with high adaptability allows for multiple configurations depending on the demands set by the residents.

Keywords: CLT, cross laminated timber, wood, recycling, reuse, circular economy, pre-fabrication, timber buildings, sustainability.

# Innehåll

<b>Sammanfattning</b>	<b>I</b>
<b>Abstract</b>	<b>II</b>
<b>Innehåll</b>	<b>III</b>
<b>Förord</b>	<b>V</b>
<b>Beteckningar</b>	<b>VI</b>
<b>1 Inledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrund . . . . .	1
1.2 Syfte . . . . .	1
1.3 Avgränsningar . . . . .	1
1.4 Metod . . . . .	1
1.5 Frågeställning . . . . .	2
<b>2 Teori</b>	<b>3</b>
2.1 Användning av trä som byggnadsmaterial i Sverige . . . . .	3
2.2 Fördelen med trä . . . . .	3
2.3 Miljöaspekter . . . . .	4
2.4 KL-trä . . . . .	5
2.5 Stommar av träreglar . . . . .	6
<b>3 Demontering, återbruk och flexibilitet</b>	<b>8</b>
3.1 Demonterbara hus i Sverige . . . . .	8
3.1.1 Historiska demonterbara byggnader . . . . .	8
3.1.2 Urban Cribs Lindholmen . . . . .	8
3.1.3 Waterfront Cabin Kvillepiren . . . . .	9
3.2 Vad är cirkulär ekonomi? . . . . .	9
3.3 Återvinning och återanvändning . . . . .	10
3.4 Projektering för återvinning och återanvändning . . . . .	12
3.4.1 DfD . . . . .	12
3.4.2 DfA . . . . .	12
3.5 Flexibla byggnader . . . . .	13
<b>4 Befintliga kopplingar och krav</b>	<b>16</b>
4.1 Krav på byggnader . . . . .	16
4.2 Vanligast förekommande sammanfogningsmetoder . . . . .	17
4.2.1 Dymplingsinfästningar . . . . .	17
4.2.2 Äldre typer av sammanfogningsmetoder . . . . .	19
4.3 Sammanfogning av KL-trä . . . . .	22
4.3.1 Skruvning . . . . .	22
4.3.2 Spikplåtar och vinkelbeslag . . . . .	22
4.3.3 Metoder för sammanfogning av KL-vägg-bjälklag . . . . .	24
4.3.4 Skarvar i KL-skivans plan . . . . .	25
4.3.5 Metoder för sammanfogning av KL-vägg-grund . . . . .	27
4.3.6 Metoder för sammanfogning av KL-vägg-tak . . . . .	27

4.3.7	X-RAD . . . . .	28
4.3.8	X-FIX . . . . .	29
4.4	Sammanfogning av lösvirkeselement . . . . .	30
4.5	Alternativa sammanfogningsmetoder . . . . .	31
4.5.1	Bosum Building Systems . . . . .	31
4.5.2	Isotimber . . . . .	31
4.5.3	Finnjoist . . . . .	32
4.5.4	Tomoku Väggblock . . . . .	33
<b>5</b>	<b>Konstruktion av egen koppling</b>	<b>34</b>
5.1	Syftet med modifierad koppling . . . . .	34
5.2	Metod vid framtagning av förslag på koppling . . . . .	34
5.3	Beskrivning av koppling . . . . .	35
5.3.1	Halvt om halvt med vagnsbult . . . . .	35
5.3.2	Dubbellask med vagnsbult . . . . .	36
5.3.3	Laxstjärt med vagnsbult . . . . .	36
5.4	Modellering i Google Sketchup . . . . .	37
5.4.1	Halvt om halvt med vagnsbult . . . . .	37
5.4.2	Dubbellask med vagnsbult . . . . .	38
5.4.3	Laxstjärt med vagnsbult . . . . .	38
5.5	Modellering i plywood . . . . .	40
5.5.1	Halvt om halvt med vagnsbult . . . . .	40
5.5.2	Dubbellask med vagnsbult . . . . .	41
5.5.3	Laxstjärt med vagnsbult . . . . .	42
<b>6</b>	<b>Analys och diskussion</b>	<b>45</b>
6.1	Utveckling av kopplingar . . . . .	45
6.2	Cirkulärt tänkande och användningen av trä . . . . .	46
6.3	Flexibla byggnader och dess primära användningsområden . . . . .	47
6.4	Jämförelse modifierade och befintliga kopplingar . . . . .	47
6.5	Fortsatt arbete . . . . .	49
<b>7</b>	<b>Slutsats</b>	<b>50</b>
7.1	Nuvarande infästningsmetoder . . . . .	50
7.2	Fördelar och nackdelar med nuvarande metoder . . . . .	50
7.3	Modifiering av befintliga metoder . . . . .	50
7.4	Byggnader som gynnas av cirkulär ekonomi . . . . .	50
	<b>Referenser</b>	<b>51</b>

## Förord

Detta examensarbete är utfört som avslutande moment i högskoleingenjörsprogrammet inom Samhällsbyggnadsteknik på Chalmers tekniska högskola. Arbetet sträcker sig över två läsperioder och motsvarar 15 högskolepoäng.

Jag vill rikta ett stort tack till Robert Jockwer och Yutaka Goto som presenterade idén till detta arbete för mig och som har bistått med handledning och agerat bollplank under arbetes gång.

Jag vill även tacka familj, studiekamrater och vänner som har bistått med tankar, stöd och idéer under examenarbetets gång. Utan deras hjälp hade detta arbete aldrig kommit till. Ett särskilt tack till Gerd och Anders Palmér som har bistått verktyg, lokal och material till modellbyggandet.

Detta arbete är tillägnat Mr. Ångström.

Elias Palmér

Göteborg maj 2021

# Beteckningar

KL-trä - Korslimmat trä

CLT - Cross laminated timber

BBR - Boverkets byggregler

PBL - Plan- och bygglagen

PBF - Plan- och byggförordningen

Prefab - Prefabricering

CNC fräs - Computer numerical control fräs

DfD - Design for disassembly

DfA - Design for adaption

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Det är ingen hemlighet att byggsektorn är en mycket resurskrävande sektor och bidrar varje år med en betydande del av det årliga utsläppet av växthusgaser i Sverige. För att byggsektorn ska bidra till ett mer hållbart samhälle krävs det att byggnader uppförs med cirkulär ekonomi och flexibilitet i åtanke. Idag byggs trähus vanligtvis med prefabricerade skivor eller fullständiga moduler, så kallade 2D- eller 3D-element. Dessa element monteras sedan ihop på byggarbetsplatsen och bildar tillsammans en byggnad.

Att modifiera infästningsmetoderna för dessa element på så sätt att elementen blir enklare att demontera skulle utveckla möjligheterna till att återanvända elementen vid rivning av en byggnad, underlätta för reparationer under byggnadens livslängd samt förenkla byggprocessen vid ombyggnation. Dessa ökade möjligheter är viktiga beståndsdelar i en fungerande cirkulär ekonomi och implementeras dessa inom byggsektorn kommer dess koldioxavtryck minska väsentligt.

## 1.2 Syfte

Syftet med detta arbete är att implementera ett cirkulärt tänkande inom träbyggnadsindustrin. Detta skall uppnås genom att undersöka möjligheterna och utveckla en ny typ av infästningsmetod för prefabricerade tråelement vilket underlättar demontering, reovering och ombyggnation av tråelementen. Tack vare den förenklade demonteringsprocessen är förhoppningen att fler aktörer inom byggbranschen kommer se möjligheterna och fördelarna med det cirkulära byggandet.

## 1.3 Avgränsningar

Arbetet kommer endast innefatta byggnadselement helt eller delvis konstruerade av trä. Detta på grund av att infästningstekniken skiljer sig markant från byggnadselement konstruerade av stål eller betong. Arbetet kommer även behandla de lagar och regler gällande krav på byggnadsdelar enligt BBR och kommer därför begränsas till viss del inom Sverige. Utvärdering av de befintliga kopplingarna kommer inte ske med avseende på hållfasthet, värmeisoleringsförmåga, brandkrav eller akustikkrav eftersom fokus ligger främst på monterings- och demonteringsmöjligheterna samt kopplingens uppbyggnad.

## 1.4 Metod

För att uppfylla målet och nå ett resultat kommer detta arbete involvera följande steg:

- Utvärdering av existerande litteratur och exempel av befintliga byggnader med avseende på infästningsmetoder. Fokus kommer ligga på 2D- och 3D-element av trä, samt hur demontering av dessa element genomförs.
- Identifiera kraven för olika typer av infästningar inom modulära konstruktioner. Detta kommer ske med hjälp av litteraturstudier.
- Utveckling av nya typer av infästningar som möjliggör demontering och återanvändning av elementen. För att visualisera och utvärdera dess egenskaper kommer modeller av infästningarna modelleras i Google Sketchup och från dessa modeller kommer

prototyper byggas i plywood. Dessa prototyper kommer främst illustrera byggbarheten av de modifierade infästningarna.

- Utvärdering av vilka typer av byggnader som gynnas mest på det cirkulära byggandet med avseende på utsläpp av växthusgaser, materialåterbruk och flexibilitet.

## 1.5 Frågeställning

Frågeställningen som ska besvaras är således:

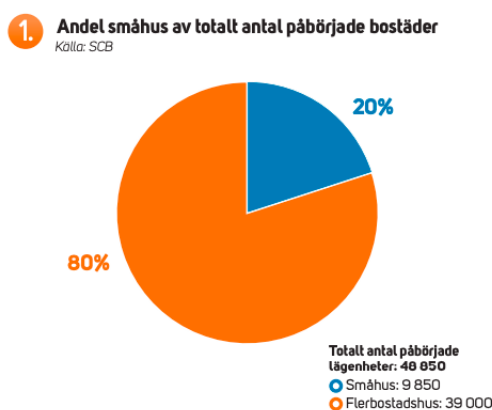
- Hur ser nuvarande infästningsmetoder för prefabricerade träelement ut?
- Vad har de nuvarande infästningsmetoderna för fördelar och nackdelar med avseende på montering, demontering och byggbarhet?
- Hur kan dessa infästningsmetoder modifieras för att underlätta demontering och således implementera ett mer cirkulärt tänkande inom byggsektorn?
- Vilka typer av byggnader skulle gynnas mest på det cirkulära byggandet med avseende på utsläpp av växthusgaser, materialåterbruk och flexibilitet?

## 2 Teori

### 2.1 Användning av trä som byggnadsmaterial i Sverige

Användningen av trä i byggprocessen har existerat mycket länge i Sverige. De äldsta bevarade träbyggnaderna härstammar från 1200-talet och trähus förknippas starkt i den svenska kulturen och traditionen, främst eftersom Sverige är ett mycket skogsrikt land och trä har således alltid varit enkelt att få tag på och arbeta med. Efter ett flertal allvarliga storstadsbränder under 1800-talet förbjöds byggnationen av flervåningshus i trä 1874 på grund av de bristande brandkraven, med vissa undantag som till exempel landshövdingehus vars första våning bestod av uppmurad sten (Trähus, 2020). Det dröjde till 1990-talet innan flervåningshus i trä började byggas i Sverige igen efter dispens från Boverket. 1994 togs förbudet mot nybyggnation av flervåningshus i trä bort helt i och med Sveriges inträde i EU och funktionskrav för att uppfylla brandkraven infördes (Svenskt Trä, 2020b).

Enligt Svenskt trä är cirka 90 % av alla småhus i Sverige, det vill säga byggnader bestående av en eller två våningar, byggda med trästomme. Småhus är vanligen byggda med träregelstomme medans flervåningshus är oftast byggda med KL-trästomme (*Småhus och flervåningshus - Svenskt Trä*, u. å.). Utvecklingen av KL-element startade under 1990-talet i Österrike och har sedan dess blivit en allt vanligare syn vid uppförande av byggnader med trästomme. En majoritet av bostadshus på landsbygden består också av trähus, vanligtvis byggda med regelstomme och kan antingen vara byggda av lösvirke eller så kallade nyckelfärdiga hus som består av färdigbyggda element som levereras monteringsklara från fabrik. Under 2019 höll nyckelfärdiga, monteringsfärdiga småhus av trä en marknadsandel inom småhusindustrin på ca 85-90 %. 2019 påbörjades byggnationen av totalt 48 850 nyckelfärdiga hus i Sverige enligt Figur 1 och prognosen förutspår en fortsatt stabil tillväxt och ökning av produktionen av småhus av trä, även om nybyggandet hålls tillbaka av bristen på detaljplanerad tomtmark (TMF, 2020).



Figur 1: Statistik om nybyggda hus i Sverige (Trähusbarometen, 2020)

### 2.2 Fördelen med trä

Förutom miljöaspekterna, vilket kommer beskrivas vidare nedan, besitter trä flera fördelar jämfört med andra byggnadsmaterial såsom betong eller stål. I förhållande till sin vikt klarar trä stora laster, något som gör materialet extra lämpligt för prefabricering enligt

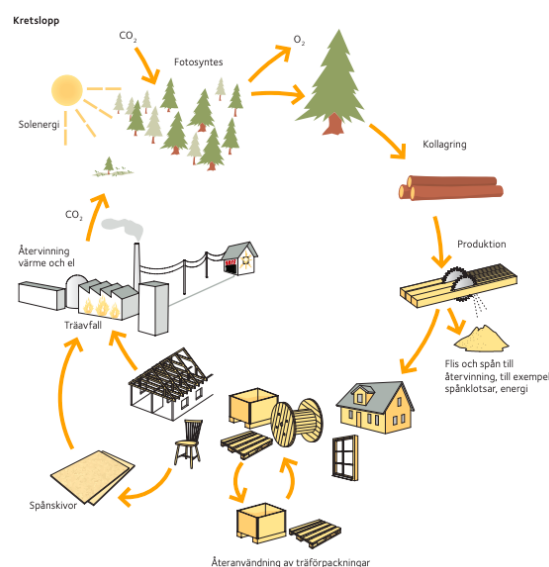
Svenskt trä (Svenskt Trä, 2017). Tack vare enkelheten att prefabricera KL-element, och med avseende på träs känslighet för fukt och temperaturförändringar i tillverkningstadiet, är det högst fördelaktigt att prefabricera KL-element inomhus i tempererade lokaler. Vidare beskriver Svenskt trä att tack vare enkelheten att bearbeta trä i efterhand är det enkelt att utföra ändringar, samt om- och tillbyggnader i träbyggnader. Den relativt låga vikten bidrar också till enklare hantering och mindre kostsamma transporter från fabrik till byggarbetsplats. I en intervju från 2015 för tidskriften Hållbart Byggnade beskriver Arne Olsson, dåvarande VD för Folkhem, att trähus bidrar till en kortare byggtid då det tar hälften så långt tid att uppföra ett trähus jämfört med ett likvärdigt i betong eller stål (Hellberg, 2015).

I Martinsons materialguide 2020 om KL-trä lyfts även KL-träs fördelar fram. Dessa fördelar syftar bland annat på KL-träs lätthanterlighet, höga bärighet, formstabilitet och dess höga prefabgrad. Med en hög prefabgrad görs en stor del av bearbetningen av KL-elementen i fabrik, till exempel urtag för dörrar och installationer vilket underlättar på byggarbetsplatsen (Martinsons, 2020)

I en rapport skriven av Ferdous m. fl. (2019) beskrivs det att användningen av prefabricerade moduler på en byggarbetsplats kan reducera transporter och deponerat avfall med upp till 70 %, buller med 30 - 50 % och arbetsplatsolyckor med 80 % jämfört med en byggarbetsplats som använder sig av separata byggnadsdelar. Detta bidrar inte bara till en säkrare arbetsplats utan även en mindre påverkan på omgivningen runt byggarbetsplatsen då både transporter och buller minskar avsevärt.

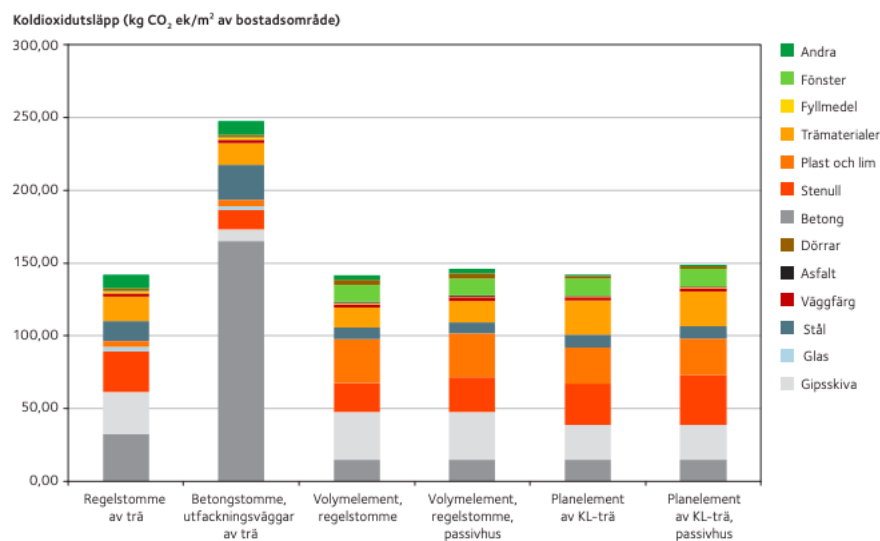
## 2.3 Miljöaspekter

Jämförs trä som byggnadsmaterial mot betong och stål har träet flera fördelar med avseende på miljöpåverkan både under tillverkningsfasen och brukarfasen. En av de stora fördelarna med att använda trä grundar sig i att trä kan utvinnas med låg energiåtgång ur en förnyelsebar resurs och vid demontering av träbyggnader kan materialet återvinnas och återinföras i kretsloppet utan att påverka miljön negativt, vilket visas i Figur 2 nedan.



Figur 2: Träs generella kretslopp (Svenskt trä KL-handbok, 2017)

I sin KL-handbok visar Svenskt Trä (2017) upp ett diagram som visar en byggnads koldioxidutsläpp i form av koldioxidekvivalenter beroende på vilket material stommen består av, se Figur 3. Vid granskning av diagrammen syns en liten skillnad mellan de olika typer av de trästommar som undersökts. Skillnaden beror främst på en ökad mängd isolering och en ökad användning av plastbaserade material i byggnader med passivhusklassning. I byggnaden med betongstomme beräknas bottenplattan, bjälklag och bärande väggar bestå av platsgjuten betong vilket ger upphov till de höga utsläppen medan utsläppen på grund av exempelvis gipsskivor och plastmaterial är lägre jämfört med byggnader en trästomme. Skillnaden i utsläpp mellan byggnader av trä- eller betongstommar kan uppskattas till 100 kg/m<sup>2</sup>. Implementeras denna modell på en lägenhet med en yta på 100 m<sup>2</sup> ger det en skillnad på 10 ton koldioxidekvivalenter, vilket enligt Svenskt trä kan jämföras med 8000 - 10 000 kilometers körning med en ny personbil (Svenskt Trä, 2017).



Figur 3: Utsläpp av koldioxid i form av koldioxidekvivalenter (Svenskt trä KL-handbok, 2017)

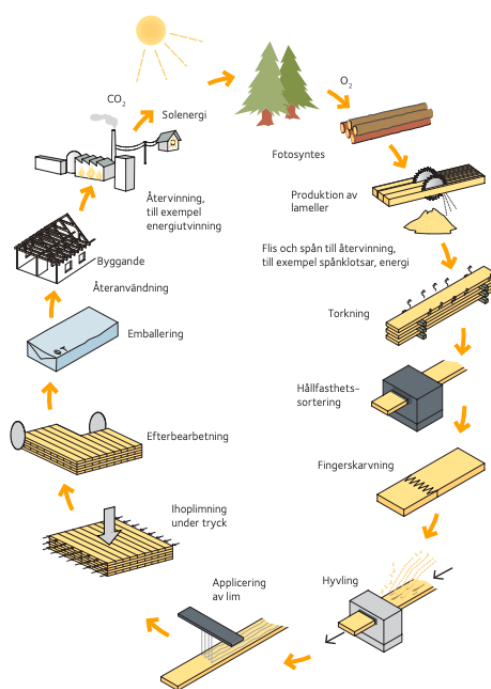
## 2.4 KL-trä

Korslimmat trä, vanligtvis förkortat till KL-trä, beskrivs i Svenskt träs KL-handbok som en byggkomponent som består av minst 3 lager ihoplimmade brädor eller plankor av barr- eller lövträ som tillsammans bildar stora skivor (Svenskt Trä, 2017). Varje lager i 90 graders vinkel i förhållande till intilliggande lager. Anledningen till detta är enligt Martinsons (2020) är att de korslimmade lagren ger elementet en ökad formstabilitet vilket leder till att ett element erhålls som är tvärstyvt och tåligt i förhållande till sin egen vikt.

Vidare i sin materialguide beskriver Martinsson hur KL-element kan användas som flera beståndsdelar till en byggnad. Elementen kan användas till både inner- och ytterväggar, bjälklag och takkonstruktioner. Då KL-trä kan tillverkas och dimensioneras för stora spännvidder ger det utrymme för stora fria ytor vilket är fördelaktigt vid planeringen för en byggnads planlösning. Vid användning av KL-trä som väggelement erhålls ett gott inomhusklimat tack vare KL-skivans ljud- och brandegenskaper och dess fuktbufferande egenskaper (Martinsons, 2020).

Tillverkningsprocessen av KL-trä beskrivs schematiskt i KL-handboken Svenskt Trä (2017) och gestaltas i Figur 4 nedan. Tillverkningen av KL-trä sker i dedikerade fabriker och dessa fabriker får brädorna eller plankorna levererade färdigtorkade från sågverken. Fuktkvoten i brädorna bör ligga i intervallet 8-15% beroende på vad elementen ska användas till och vilken typ av lim som används, dock får inte skillnaden i fuktkvot mellan två intilliggande brädor överstiga 5%, detta för att minimera sprickbildningen i elementet. Vid leverans av brädorna sorteras de upp efter dess hållfasthetsklass. I KL-element används oftast brädor med högre hållfasthetsklass där elementet har störst påkänningar, vanligtvis i elementets ytskikt och i huvudbärriktningen. Efter sortering fingerskarvas virket och vartefter limmet i fingerskarven torkar hyvlas brädorna plana innan de limmas och pressas ihop till KL-element. För att pressa ihop elementen och säkerhetsställa ett jämt tryck över elementen utförs pressningen med hjälp av antingen vakuum eller hydrauliskt tryck (Svenskt Trä, 2017).

Efter ihoppresning placeras elementen i en CNC-fräs för efterbearbetning, till exempel ufräsning för installationen, ursågning och bearbetning av kanter beroende på planerad infästningsmetod eller ursågningar för fönster och dörrar. Slutligen putsas skivorna för att uppnå en hög finish på ytan, något som rekommenderas av bland annat Martinsons (2020), för KL-element som skall vara synliga i konstruktionen (Svenskt Trä, 2017).



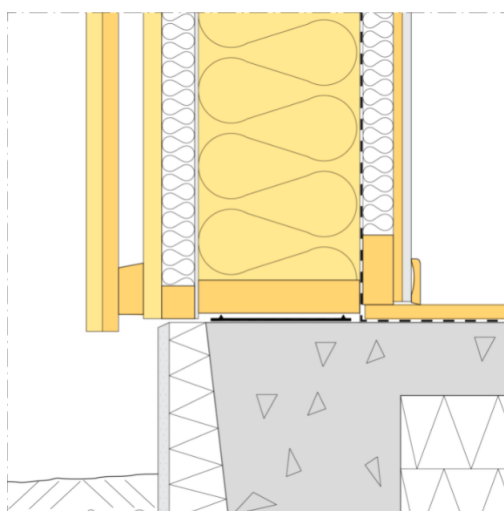
Figur 4: Schematiskt översikt av kretsloppet och tillverkningen av KL-trä (Svenskt trä KL-hanbok, 2017)

## 2.5 Stommar av träreglar

Ett vanligt stomsystemet för mindre byggnader till exempel villor, garage och andra enskilda byggnader är en stomme av träreglar (Svenskt trä, 2021). En träregelvägg består i huvudsak av vertikala och horisontella reglar som tillsammans med isolering och väggen ytskikt ger väggen dess specifika egenskaper. I en byggnad bestående av stål- eller betongstomme används normalt träregelväggar som icke bärande väggar. Isoleringen består

vanligtvis av mineralull eller cellulosa fibrer som har mycket goda värmeisolerings egenskaper. Om regelväggen är en yttervägg, och är således en del av byggnadens klimatskal, finns det krav att isolering måste användas för att upprätthålla ett bra inneklimat enligt tabell 9:2a i Boverkets författningssamling (Svensson, 2020). Ett exempel på en typisk träregelvägg redovisas i Figur 5.

En prefabricerad träkonstruktion kan antingen definieras som en konstruktion av öppna eller slutna element. Öppna element är väggelement eller bjälklagsplattor som består endast av träreglar och ett ytskikt av skivor eller annan typ av panel på utsidan elementet och saknar således isolering, tätskikt och övriga installationer. Detta leder oftast till mycket efterarbete och eftermontering krävs på byggarbetsplatsen (Svenskt Trä, 2003). Slutna element består istället av väggsektioner eller bjälklagsplattor med ett förmonterat ytskikt, isolering, tätskikt och installationer. Vid behov kan ett ytterligare installationsskikt monteras på insidan av elementet. Slutna element som saknar installationsskikt är vanligast vid montering av flervåningshus i trä. Elementen levereras i dessa fall till byggarbetsplatsen i intäckta buntar och monteras med hjälp av kranbil eller mobilkran. På grund av att de slutna elementen innehåller isolering ställer det stora krav på väderskyddet under byggnationen eftersom vatten i form av nederbörd kan tränga in i elementen ovanifrån och således skapa fuktproblem när elementen är monterade (Svenskt Trä, 2003)



Figur 5: Exempel på lättbyggnadsvägg (Träguiden, 2003)

## 3 Demontering, återbruk och flexibilitet

### 3.1 Demonterbara hus i Sverige

#### 3.1.1 Historiska demonterbara byggnader

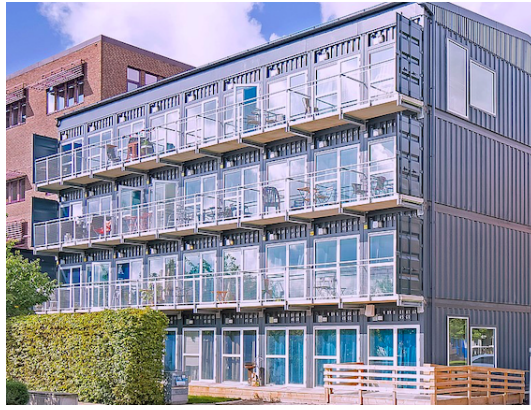
Tanken med byggnader som har uppförts med demontering i åtanke är inget nytt koncept. Den svenske arkitekten Fredrik Blom introducerade idén med flyttbara hus till Sverige under 1810-talet (Thormark, 2008). I dessa hus var väggarna, golv och tak indelade i element som monterades ihop på byggarbetsplatsen. Väggarna i dessa hus bestod av dubbla spontande brädväggar med ett lager förhydringspapp mellan brädlagen. Förhydringspappen tillverkades av tjärat papper och bidrog med ett lufttätt skikt i väggen vilket gav ett betydligt tätare hus jämfört med ett konventionellt trähus. Djurgårdspaviljongen är ett exempel på Bloms verk och visas i Figur 6. De traditionella takstolarna av trä var skrymmade och klumpiga att transportera. Blom ersatte då hanbjälkarna med dragband som kunde spännas med vantskruv. Detta förhindrade takstolarna att trycka ut ovankanten på väggliven och bidrog också med lättare hantering av takstolarna. Utöver byggnadselement konstruerades även demonterbara kakelugnar, trappor och fönster enligt Bloms idéer.



Figur 6: Djurgårdspaviljongen (Stiliga hem, 2016)

#### 3.1.2 Urban Cribs Lindholmen

Ett försök till mobila och demonterbara bostäder har gjorts på Lindholmen i Göteborg, se Figur 7. Bostäderna består av renoverade fraktcontainrar och byggdes som studentbostäder med ett rum och kök per modul. Syftet med projektet var att minska bostadsbristen och samtidigt agera som testarena för konceptet med containerbyggnader (Fastighetssverige, 2016). Projektet stötte dock på problem med inträngning av fukt och otillräcklig ventilation i lägenheterna vilket försämrade inneklimatet avsevärt (Görfelt, 2017).



Figur 7: Studentbostäder på Lindholmen (Studentbostäder i Sverige AB, u. å.)

### 3.1.3 Waterfront Cabin Kvillepiren

I Frihamnen i Göteborg pågår i skrivande stund ett projekt med demonterbara bostäder, se Figur 8. Projektet har namnet Waterfront Cabins och består av moduler som monteras ihop till temporära bostäder i form av lägenheter. Modulerna består av trä och fraktas från Baltikum via båt till Kvillepiren i Göteborg, något som minskar transportens koldioxidutsläpp med 60 % jämfört med den konventionella transportmetoden med lastbilar (Här anländer nya bostäder till Frihamnen - Göteborg Stadsutveckling, 2020).



Figur 8: Project Waterfront Cabins (Göteborgsposten, 2020)

## 3.2 Vad är cirkulär ekonomi?

En cirkulär ekonomi kan kort förklaras som en form av kretslopp som använder så lite resurser som möjligt och är motsatsen till en linjär ekonomi (Naturskyddsföreningen, 2018). Enligt Hållbarhetsguiden (2018) går cirkulär ekonomi helt och hållet ut på att bibehålla värdet hos en produkt genom hela livscykeln med motivationen ju bättre produkten bevaras, desto högre värde behåller den genom livscykeln vilket visas i Figur 9. En linjär ekonomi kan ses som ett rakt led där resurserna går från råvara, design, tillverkning och användning till avfall och anses vara ohållbar för miljön, ekonomin och människan själv (RISE, u. å.). Implementeringen av cirkulär ekonomi kan enligt RISE kopplas till FN:s globala mål där närmaste koppling sker med

- mål 9: hållbar industri, innovationer och infrastruktur,

- mål 11: hållbara städer och samhällen,
- mål 12: hållbar konsumtion och produktion.

2015 presenterades en handlingsplan inklusive åtgärder av EU-kommissionen en produkts hela livscykel ska påverkas i form av

- produktion och design,
- konsumtion,
- avfallshantering,
- marknaden för återvunna material.

Handlingsplanen identifierade även fem sektorer där åtgärder i hela livscykeln är särskilt prioriterade där en av sektorerna var byggbranschen (Naturvårdsverket, 2020b). Detta innebär enligt Naturskyddsföreningen (2018) att vad som behövs för att omvandla en linjär ekonomi till en cirkulär är förändrade konsumtion- och produktionsmönster, där de viktigaste stegen anses vara minskad konsumtion av nya produkter, ökad återanvändning och återvinning, smartare designade förpackningar och produkter samt ett ökat utnyttjande av den energi som inte kan återvinnas. Enligt Jansson (2015) bör produkter i en cirkulär ekonomi utformas enligt DfD, Design for Disassembly, och för modulärt byggande för att underlätta för framtida uppdateringar och reparationer av komponenten. Inom cirkulär ekonomi kan en designfilosofi kallad Cradle to Cradle appliceras vilket anser att avfall kan ses som näring till en produkts kretslopp och livscykel (Jansson, 2015).



Figur 9: Illustration av cirkulär ekonomi (Naturskyddsföreningen, 2018)

### 3.3 Återvinning och återanvändning

Att implementera en högre återvinningsgrad inom byggbranschen är nödvändigt för att minska avfallet genererat av byggsektorn. Enligt Naturvårdsverket står byggsektorn för en tredjedel av allt avfall och en fjärdedel av allt farligt genererat i Sverige årligen (Naturvårdsverket, 2020a). I en rapport publicerad på Svenskt Avfalls hemsida skriver författarna att mängden avfall genererat av byggsektorn är cirka nio miljoner ton (Milute.Plepiene m. fl., 2020). Rapporten återger även att återanvändning står högt upp

i avfallshierarkin och återanvändning är ett sätt att öka livslängden på produkten och samtidigt förebygga avfallsproduktion.

Avfallshierarkin, även kallad Avfallstrappan och visas i Figur 10, är ett verktyg framtaget ur EU-direktiv som implementerats i den svenska miljöbalken för att styra hur avfall i Sverige skall tas om hand enligt Figur 10 (Naturskyddsföreningen, 2020).

Avfallshierarkin rangordnas enligt följande lista:

- Minska avfallets mängd och farlighet
- Återbruk
- Materialåtervinning
- Energiutvinning
- Deponering



Figur 10: Avfallstrappan, även känd som avfallshierarkin (Naturskyddsföreningen, 2015)

Det optimala enligt avfallshierarkin är att minska eller helt undvika avfallsproduktion. Skulle avfall ändå uppstå används nästa steg i hierarkin och det bästa fallet är då att avfallet återbrukas. Samma metod används genom hela avfallshierarkin där slutsteget resulterar i att avfallet deponeras och är således det sämsta alternativet sett ur miljösynpunkt.

Utöver miljöaspekterna finns det även en ekonomisk vinst av återvinning och återanvändning av byggnader. Kostnaden genererad av avfallshantering och deponi av byggavfall har sedan 1970-talet varit en betydande kostnad för byggföretag i Sverige (Thormark, 2008). En byggnad som inte rivs selektivt och således inte sorteras i materialfraktioner behöver sorteras på avfallsanläggningen och orsakar en stor kostnad. Att bygga demonterbart leder därför till en snabbare sortering av rivningsavfallet och minskar både kostnader och mängden osorterat avfall enligt Thormark. En demonterbar byggnad bör även ha ett högre restvärde än en byggnad som inte är möjlig att bygga om till ett annat ändamål

enligt Thormark, främst på grund av en byggnads värde styrs av tillgång och efterfrågan och byggnadens läge.

### 3.4 Projektering för återvinning och återanvändning

I detta kapitel behandlas de metoder och verktyg som projektörer och konstruktörer bör ha i åtanke och använda vid utformandet av demonterbara och anpassningsbara byggnader av trä.

#### 3.4.1 DfD

Att riva en byggnad och sortera avfallet i separata fraktioner är ett kostsamt och tidskrävande arbete (Thormark, 2008). För att spara både tid och pengar kan byggnader designas och projekteras enligt DfD, "Design for Disassembly". Syftet med DfD är att designa byggnader med demontering och återanvändning i åtanke. Metoden har använts inom byggnadssektorn sedan 1970-talet och har genererat flera forskningsprojekt om DfD. Thormark skriver också i sin bok om selektiv rivning och återvinning av byggmaterial som beskrivs som den andra hörnstenen förutom DfD inom utvecklingen av projektering för demontering. Selektiv rivning innebär att byggnadsmaterial rivs och sorteras utefter dess egenskaper, återbrukspotential eller miljöförstörelspotential. Samtidigt som selektiv rivning implementerades i Sverige startades företaget som sålde begagnade byggvaror och byggnadsvårdsdetaljer.

Thormark definerar en byggnad som är utformad för demontering och återvinning som:

- monteringspunkter är utformade så att demontering kan utföras på ett rationellt sätt
- byggnaden kan demonteras i byggnadsdelar
- byggnadsdelar kan demonteras i olika materialfraktioner
- materialen kan återvinnas
- byggnadsdelar, om det är lämpligt, kan återbrukas.

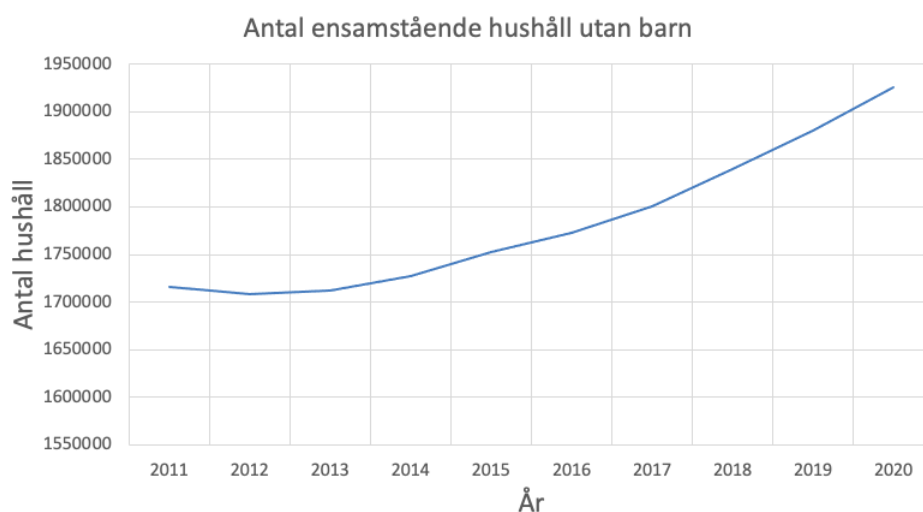
#### 3.4.2 DfA

DfA står för "Design för Adaption" och innebär att möjliggöra anpassning och ändring av en byggnad beroende på vilka krav som ställs under byggnadens livscykel (Jockwer m. fl., 2020). En byggnad som projekterats med avseende på DfA kan således genomleva flera och längre livscyklar med hänsyn till:

- ändrade behov som innebär ökade laster och ställer större krav på bärande konstruktioner i byggnaden
- möjligheten att reparera, förstärka och eventuellt byta ut skadade bärande element vid brand, vattenskada och liknande
- med ökade energibehov och isoleringskrav kan fasadelement bytas ut och ersättas med mer välisolerade
- byggnadens brukare kan justera byggnades utefter deras specifika krav både på lång och kort sikt.

### 3.5 Flexibla byggnader

Samhällsförändringar och förändrade familjestrukturer kräver ett flexibelt byggande för att minska rivningsavfall och således minska miljöpåverkan. Enligt Thormark (2008) kommer befolkningen i Stockholm och Uppsala öka med 30 respektive 20% under de närmaste 25 åren, men påpekar fortfarande att framtidsstudier är osäkra och samhället kan ständigt förändra sig beroende på företagsatsningar, klimatförändringar eller olyckor såsom brand och jordskred. Även hushållsstrukturer förändras sig med tiden. Enligt SCB (2021) finns det ca 4.78 miljoner hushåll i Sverige 2021, varav cirka 1.92 miljoner av dessa består av en (1) person utan barn i hushållet. Denna siffra har ständigt ökat sedan 2012 enligt Figur 11.



Figur 11: Statistik över ensamstående hushåll i Sverige 2011-2020 (SCB, 2021)

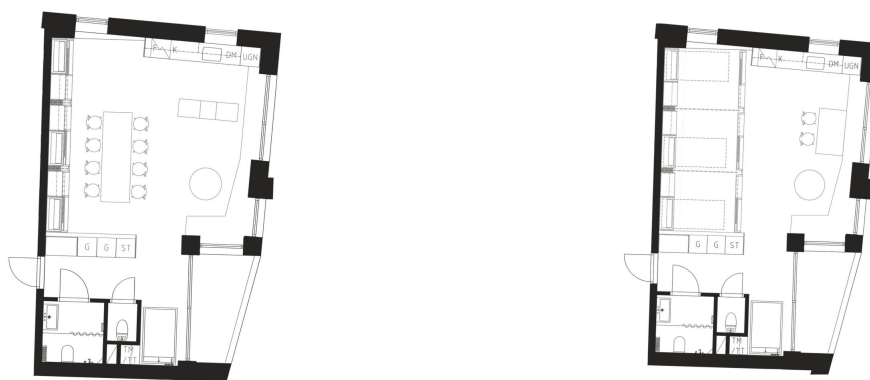
De tidigare beskrivna bostadsprojekten på Lindholmen och Kvillepiren är exempel på ensamstående hushåll med tillfälligt bygglov. Efter att bygglovstiden löpt ut krävs det att bostäderna demonteras och flyttas till en ny plats. Om en byggteknik som inte gynnar demontering och återbruk hade använts vid uppförandet av dessa byggnader lär omfattande rivningsarbeten krävs vid demontering av bostäderna, vilket i sin tur genererar en stor mängd rivningsavfall. Utefter dessa förutsättningar med en ökande andel ensamstående hushåll och en erkänd bostadsbrist i Sverige enligt Boverket (2019) kan en slutsats dras att projektera tillfälliga bostäder för ensamstående hushåll med DfD i åtanke ger en positiv inverkan på både klimatet och samhället eftersom minimalt med avfall genereras och bostäderna kan återbrukas på ny ort och således motverka bostadsbrist där situationen är som allvarligast.

Användningen av tillfälliga lokaler i form av moduler används även vid inhysning av elever när den ordinarie skolbyggnaden renoveras eller repareras. Fördelen med moduler över de ordinarie klassrummen är enligt PCS Modulsystem (2021) bland annat att de nya modulerna oftast uppfyller högre akustik- och brandkrav jämfört med skolbyggnaderna de ersätter vilket ger en förbättrad inomhusmiljö och högre kvalitetsnivå överlag. När behovet av de tillfälliga lokalerna försvinner monteras modulerna isär och transporteras tillbaka till fabriken där de rekonderas och anpassas för nästa brukares behov.

För att undvika att rivning av byggnader som ännu inte har uppfyllt sin tekniska livslängd måste byggnadens kunna anpassas efter olika behov under sin livslängd. Enligt Thormark

(2008) finns det en tydlig tendens till att byggnader i Sverige rivs alldeles för tidigt med avseende på sin tekniska livslängd, uppskattningsvis var 25% av byggnader som rivits efter 1980 yngre än 30 år. I en artikel av Great m. fl. (2021) ges två exempel på flexibla bostäder i Australien där flexibiliteten erhålls med hjälp av öppna, fria och anpassningsbara ytor. Enligt författarna är den här typen av flexibla bostäder bättre för samhället än traditionellt utformade hus som har utformats runt antalet sovrum och badrum. Anledningen till detta är att traditionellt utformade hus kan inte anpassa sig till vad hushållen behöver idag och är således oattraktiva på marknaden på grund av sin fasta planlösning (Great m. fl., 2021).

I Sverige har White Arkitekter tagit fram Drömlägenheten, ett projekt vars syfte var att uppnå en flexibel och hållbar bostad som med enkla medel kan från en enrumslägenhet till en trerumslägenhet och vice versa enligt Figur 12a samt Figur 12b (*Drömlägenheten — White Arkitekter*, 2017). Under projekteringen låg energianvändning per capita i fokus snarare än energianvändning per kvadratmeter vilket enligt White Arkitekter gör att slutresultatet blir en lägenhet med kraftigt minskad energianvändning och underhållskostnad.

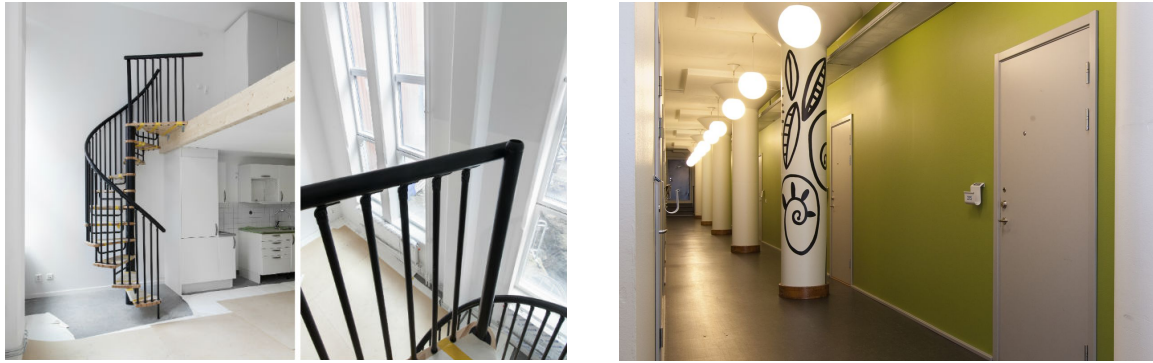


(a) Planlösning för enrumslägenhet

(b) Planlösning för trerumslägenhet

Figur 12: Planlösning över Drömlägenheten (White Arkitekter, 2017)

I Göteborg har SGS Studentbostäder projekterat och anpassat två före detta industrilokaler till studentbostäder: Gårda Fabriker och Smedjan på Norra Älvstranden, se Figur 13b och Figur 13a. Gårda fabriker har anor från 1800-talet och inhyste tidigare en textilfabrik och anses ha ett högt kulturhistoriskt värde (*SGS Studentbostäder - Gårda fabriker*, 2018). Smedjan är en f.d. varvssmedja som tidigare har använts som undervisningslokal och kontor innan byggnaden byggdes om till studentbostäder under 2018 (*Nu flyttar studenterna in i Smedjan - Älvstranden Utveckling*, 2018).



(a) SGS Smedjan

(b) SGS Gårda fabriker

Figur 13: Översikt över SGS Smedjan och Gårda fabriker (SGS, 2017)

Vikten av en flexibel byggnad kan appliceras även till kontorsbyggnader. En kontorsplan kan bestå av öppna kontorslandskap, cellkontor eller delade kontorsrum, eller en blandning av samtliga typer. När kontorsplanet byter ägare ändras ofta verksamhetstypen vilket kan ställa nya krav på planlösningen utefter nya verksamhetens behov. Ett flexibelt kontorslandskap kan således med lätthet anpassa sig efter nya verksamheter utan stora ombyggnationer eller rivningsarbeten.

## 4 Befintliga kopplingar och krav

I detta kapitel behandlas de olika typer av kopplingar som vanligen används vid byggnation av trähus, samt vilka hållfasthetskrav som ställs.

### 4.1 Krav på byggnader

Ett byggnadsverk måste uppföras enligt gällande lagar och regler som beskrivs i PBL. Kraven på byggnadens tekniska egenskaper anges i 8 kap. 4§ i PBL (2010:900) och definieras enligt följande lista (Riksdagen, 2010):

Ett byggnadsverk ska ha de tekniska egenskaper som är väsentliga i fråga om

1. bärförmåga, stadga och beständighet,
2. säkerhet i händelse av brand,
3. skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljö,
4. säkerhet vid användning,
5. skydd mot buller,
6. energihushållning och värmeisolering,
7. lämplighet för det avsedda ändamålet,
8. tillgänglighet och användbarhet för personer med nedsatt rörelse- eller orienteringsförmåga,
9. hushållning med vatten och avfall,
10. bredbandsanslutning, och
11. laddning av elfordon.

För att uppfylla kraven som ställs i PBL (2010:900) 8 kap. 4§ första stycket anger Boverket (2018) i PBF 3 kap. 7§ att byggnadsverket ska vara utfört och dimensionerat på ett sådant sätt att den planerade användningen av byggnaden inte resulterar i antingen

1. att byggnadsverket helt eller delvis rasar,
2. oacceptabla större deformationer
3. skada på andra delar av byggnadsverket, dess installationer eller fasta utrustning till följd av större deformationer i den bärande konstruktionen, eller
4. skada som inte står i proportion till den händelse som orsakat skadan.

Vidare krav på tekniska egenskaper tas inte med då dessa anses orelevanta för stommens bärighet och utformning.

Byggnader såsom villor, radhus och andra mindre konstruktioner i icke utsatta lägen med en höjd på högst två våningar behöver sällan kontrolleras mot stjälpning, horisontella laster eller liknande då tillräcklig stabilitet och bärförmåga erhålls tack vare ytter- och innerväggar beklädda med skivor (*6.3.2 Stomstabilitet - TräGuiden*, u. å.).

Vid beräkning av flervåningshus i trä bör stomstabiliserade väggar ha en sådan bärförmåga och styvhet så att både vertikala lyft- och tryckkrafter kan överföras. Vid dimensionering av flervåningshus är det därför önskvärt att samtliga väggar används för att stabilisera byggnaden. För att kontrollera mot stjälpning eller glidning av byggnaden antas byggnaden och bottenplattan som en sammansatt enhet vilket ställer höga krav på infästningen mellan grund och vägg. Stjälpning av byggnaden sker då byggnadens egentyngd ej är tillräckligt hög för att motverka det stjälpande moment som uppkommer från vindlasten på byggnaden. Skulle infästningen inte uppfylla kraven som ställs ågärdas detta genom att antigen öka byggnadens egentyngd eller genom att utforma en starkare infästning mellan grund och stomme. Dimensioneringen av infästningen mellan grund och vägg beror således på främst på byggnadens egentyngd och totala väggyta som påverkas av vindlasten (Svenskt Trä, 2017).

För att kontrollera den horisontella infästningen mellan vägg och bjälklag dimensioneras infästningen för en tvärkraft som motsvarar den horisontella last som uppkommer på grund av den ovanliggande konstruktionen enligt Figur 14a. Vid användning av inhängda bjälklag, bjälklag som placeras mellan bärande väggar med hjälp av beslag eller upplag i form av kantbalkar enligt Figur 14b, dimensioneras infästningen efter de horisontella krafter som tas upp av väggarna i anslutning till bjälklaget. För att uppnå tillräcklig tvärkraftskapacitet och stabilitet mellan bjälklag och väggar erfodras vanligtvis ett mekaniskt förband (Svenskt Trä, 2017).



Figur 14: Överföring av horisontella krafter vid respektive bjälklagstyp (Svenskt trä, 2017)

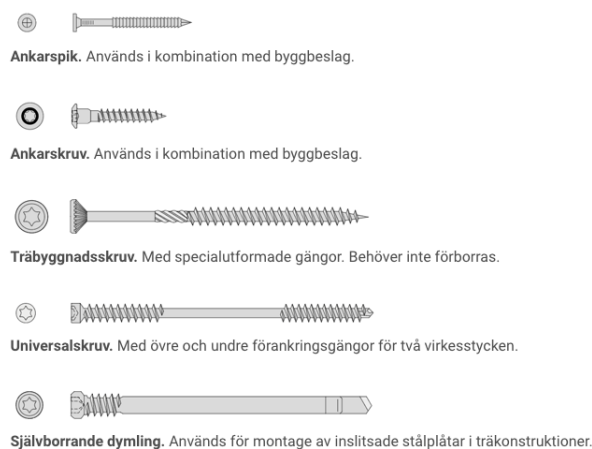
Den vertikala infästningen mellan vägg och bjälklag och infästningen mellan väggskivor ska dimensioneras för att förhindra väggen att lyfta då horisontella laster på stabiliserande väggar ger upphov till ett stjälpande moment, vilket i sin tur ger upphov till reaktionskraften i nederkant av väggen. Lyftning förhindras även av den tyngd som uppkommer från ovanliggande konstruktion. Dimensioneringen av infästningen mellan väggar utformas därför efter tyngden av ovanliggande konstruktion, den horisontella samt vindlasten väggen känner av samt förankring av väggen till intilliggande väggar (Svenskt Trä, 2017).

## 4.2 Vanligast förekommande sammanfogningsmetoder

### 4.2.1 Dymlingsinfästningar

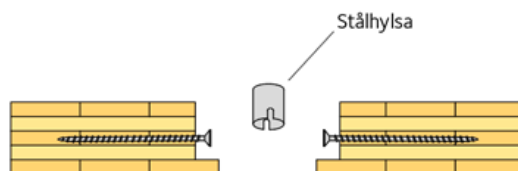
För att sammanfoga element av KL-trä används vanligtvis träskruv av olika dimension och längd. Tack vare enkelheten i att montera en skruv och skruvens förmåga att ta upp stora tvärkrafter är det ett populärt val vid montering av KL-element. Det finns idag ett

brett urval av träskruvar med varierande diameter och längder upp till 2000 mm enligt Figur 15 (4.3.1 Träskruvar, skruvar och dymlingar - TräGuiden, 2017).



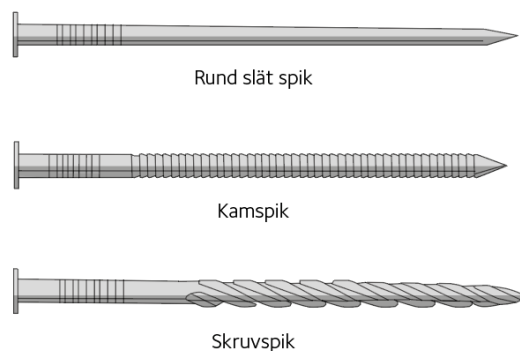
Figur 15: Vanliga typer av träskruv (Svenskt trä, 2017)

Vid användning av träskruvar i KL-konstruktioner måste placeringen av träskruvarna tas i beaktning. Vid användning av icke kantlimmade KL-element finns risken att skruvarna förskjuts mot spalter mellan brädorna vilket resulterar i förlorad tvärkraftskapacitet i förbandet. För att motverka detta fenomen kan stålhylsor i form av genomgående cylinderformade ringar användas enligt Figur 16 (4.4.1 Förband i KL-träskivans plan - TräGuiden, 2017).



Figur 16: Exempel på stålhylsa (Svenskt trä, 2017)

Utöver skruv så används även spik för sammanfogning av trä. Användningen av spik är det traditionella och vanligaste sättet att sammanfoga trä. Även spik finns i en mängd av dimensioner och kvaliteter. Liksom för skruv så skall spik som monteras utvändigt vara av antingen rostfritt stål eller vara korrosionsskyddade, vanligtvis genom varmförzinkning (Rothoblaas, 2019).



Figur 17: Vanliga typer av spik (Svenskt trä, 2017)

Vid montage av träelement där stora krafter och höga belastningen kan förekomma kan vagnsbult användas, se Figur 18. Montaget kräver förborrning varav vagnsbulten slås in i träet så undersidan på dess skalle låses mot träet och förhindrar att bulten snurrar. Vagnsbulten fixeras sedan med mutter och bricka på motsatt sida. För att tåla utomhusklimat varmförzinkas bultar avsedda för utomhusbruk (HECO, 2021).

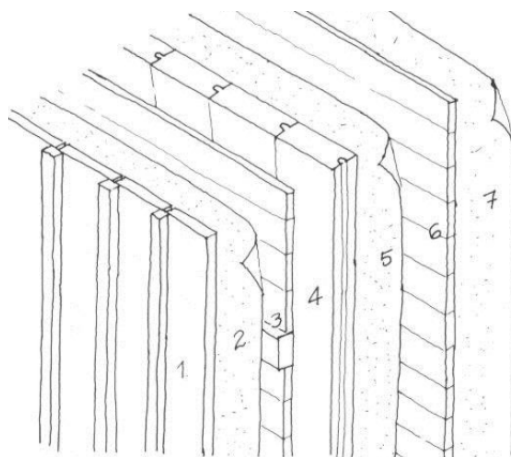


Figur 18: Exempel på vagnsbult med tillhörande mutter (Hikoki, 2021)

Vid jämförelse av skruv och spik så har skruven en markant högre utdragskraft på grund av dess gängor som biter sig fast i träet vid inskruvning. Även demontering av förband som är ihopskruvade är betydligt lättare än demontering av förband som är ihopspikade. Spikar är dock mjukare i materialet och kan ta upp små rörelser i träet utan att materialet spricker. Vid spikning bör även träet förborras om spiken positioneras i nära anslutning till ändträ, vanligtvis 100-150 mm från änden, för att inte träet ska spricka. Detta är inte nödvändigt vid skruvning då skruvspetsen är självborrande (Svenskt trä, 2017).

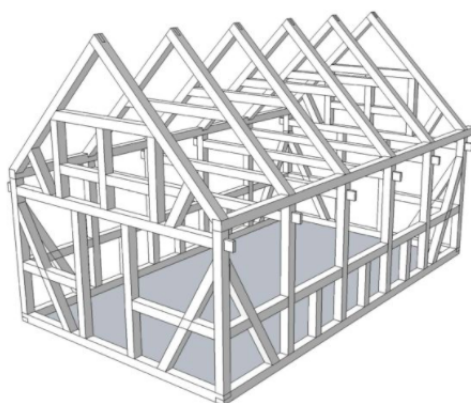
#### 4.2.2 Äldre typer av sammanfogningsmetoder

Under första halvan av 1900-talet uppfördes de flesta bostadshus i Sverige med plankstomme (*Plankstomme - Hålla hus*, u. å.) och därför påträffas denna typ av stomme oftast vid reovering av äldre bostadshus. Planken monteras stående och är 5 - 7,5 cm tjocka, spontade eller ospontade och är sällan under 23 cm breda. En plankstomme spikades oftast ihop och kunde bestå av upp till tre lager plank. För att motverka drag så spikades papp mellan varje lager i stommen enligt Figur 19 (Lundgren, u. å.).



Figur 19: Schematisk bild över en plankstomme (Hålla hus, u. å.)

I äldre träbyggnader såsom ladugårdar består stommen oftast av ett stolpverk. Ett stolpverk definieras som en konstruktion där den bärande stommen består av fyrkantigt, blockat eller runt timmer av dimensioner 4 x 4 tum eller större, se Figur 20. De inre och yttre belastningarna förs över till grunden via en samverkan mellan stående, liggande och snedställt timmer (*Vad är stolpverk*, u. å.). Majoriteten av takstolskonstruktionerna som byggdes innan 1850 uppfördes med stolpverksteknik.



Figur 20: Exempel på stolpverk (Stolpverk Norden, u. å.)

I andra typer av byggnader såsom timmerhus används ett haksystem så att stockarna ligger dikt an mot varandra och hålls på plats med hjälp av sin egentynngd samt takets vikt (*Historien om timmerhus*, u. å.). På grund av takets tyngd är det inte ovanligt att väggarna sjunker ihop, "sätter sig", flera centimeter vilket tätar eventuella glipor mellan timmerstockarna och gör väggen mycket tät. Ett exempel på timmerhus som författaren har medverkat vid byggnationen av visas i Figur 21 som består av rundade stockar med urfrästa knutar och har återbrukat lertegel som takbeklädning.



Figur 21: Exempel på timmerhus (Eget foto, 2019)

En fördel med stolpverkskonstruktioner och timmerhus var att de relativt lätt kunde plockas ner och flyttas till andra platser vid behov (Timmerhus, u. å.). Med flyttbarheten i åtanke vid uppförandet av byggnaden utformades skarvarna och kopplingarna mellan stomelementen och stockarna i timmerhus så det lätt kunde monteras ned. Urvalet av knutar i timmerhus är stort och ett exempel visas i Figur 22.



Figur 22: Hörnskarv mellan stockar (Ulrik Hjort Lassen, 2009)

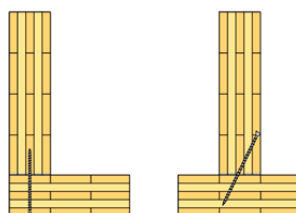
## 4.3 Sammanfogning av KL-trä

Rent principiellt utförs sammanfogning av element av KL-trä genom skråskruvning av träskruvar, dolda specialbeslag eller vinkelbeslag och spikplåtsvinklar (4.4.4 *Infästningar väggskiva-väggskiva - TräGuiden*, 2017).

Nedan följer exempel på några av de typiska system som används i dagsläget.

### 4.3.1 Skruvning

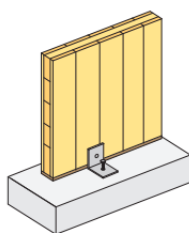
Den absolut enklaste infästningsmetoden för att sammanfoga ett KL-element med en annan typ av träskiva är genom att skruva ihop dessa med träskruv (4.4.4 *Infästningar väggskiva-väggskiva - TräGuiden*, 2017). Det är av stor vikt att kontrollera placeringen av dessa skruvar. Detta eftersom om skruvarna bara skruvas i ändträ, då minskar hållfastheten i förbandet eftersom skruven sitter parallellt med fiberriktningen. För att motverka detta fenomen kan elementen med fördel skråskruvas enligt Figur 23.



Figur 23: Skråskruvning (Svenskt trä, 2017)

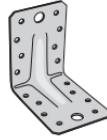
### 4.3.2 Spikplåtar och vinkelbeslag

Spikplåtar och vinkelbeslag spelar en stor roll i förbandet mellan KL-element. Det finns ett stort antal vinkelbeslag att tillgå på marknaden där egenskaperna varierar från att klara stora tvärkrafter till beslag som klarar stora dragkrafter (Svenskt Trä, 2017).



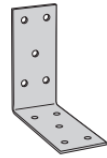
Figur 24: Exempel på infästning mot grund (Svenskt trä, 2017)

Vinkelbeslag används vanligtvis som kryssförband med KL-trä, exempelvis infästning mellan KL-trä och betong (Svenskt Trä, 2017). Det finns ett stort utbud av vinkelbeslag dimensionerade för olika belastningar och de tillverkas av antingen rostfri eller varmförzinkad plåt för att undvika korrosion, exempel på vinkelbeslag visas i Figur 25. Dessa beslag utformas för att fästas med ankarspik, ankarskruv eller expanderskruv för montage i betong enligt Figur 24.



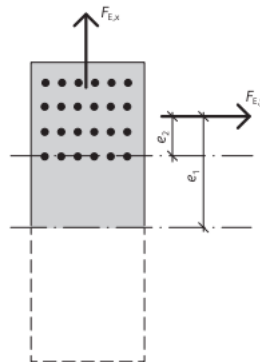
Figur 25: Exempel på vinkelbeslag (Svenskt trä, 2017)

Spikplåtsvinklar liknar vinkelbeslag men är inte dimensionerade för lika hög belastning, se Figur 26. De är liksom vinkelbeslag tillverkade av antingen rostfri eller varmförzinkad plåt och monteras med ankarskruv eller ankarspik (Svenskt Trä, 2017).



Figur 26: Exempel på spikplåtsvinkel (Svenskt trä, 2017)

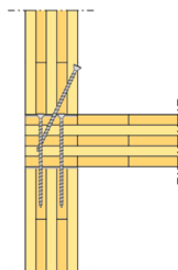
Spikningsplåtar används främst för att ta upp måttliga laster och att skarva träelement till exempel limträbalkar och träskivor. Hålen i en spikningsplåt kan antingen borraras eller stansas ut, där stansade plåtar anses vara det mest kostnadseffektiva alternativet (Svenskt Trä, 2017). Exempel på spikplåt visas i Figur 27



Figur 27: Exempel på spikplåt (Svenskt trä, 2017)

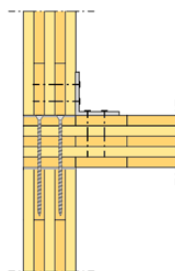
### 4.3.3 Metoder för sammanfogning av KL-vägg-bjälklag

Den enklaste metoden för att sammanfoga bjälklag och väggelement i KL-trä är genom skruvning (4.4.5 *Infästningar väggskiva-bjälklagsplatta - TräGuiden*, 2017). Detta erfordrar att skruvarna har tillräcklig längd, hållfasthet och placeras på rätt sätt för att undvika skruvning i ändträ för att få tillräckliga förankringslängder enligt Figur 28.



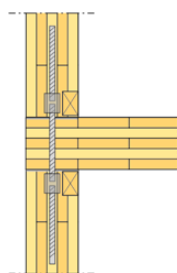
Figur 28: Skråskruvning mellan KL-vägg och bjälklag (Svenskt trä, 2017)

Bjälklagsplattor och väggskivor kan också sammanfogas med hjälp av tidigare beskrivna vinkelbeslag enligt Figur 29. Fördelen med vinkelbeslag över enkel skråskruvning är vinkelbeslagen kan ta upp större tvärkrafter (4.4.5 *Infästningar väggskiva-bjälklagsplatta - TräGuiden*, 2017).



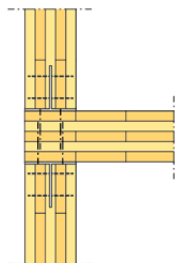
Figur 29: Kombination av skruvning och användning av vinkelbeslag (Svenskt trä, 2017)

Ytterligare en metod för sammanfogning av bjälklagsplattor och väggskivor är att med hjälp av helgängade skruvar av varierande längd som borras i och limmas fast i väggskivan ihop med gängade hylsor enligt Figur 30. Detta system är speciellt anpassat för stommar i KL-element. Med hjälp av gängade skruvar som har samma längd som vägghöjden kan lyftkrafter som uppstår i konstruktionen ledas ner till grunden (Svenskt Trä, 2017).



Figur 30: Infästning med helgängade skruvar (Svenskt trä, 2017)

Erfodras dolda montage med hög hållfasthet kan även inslitsade beslag användas. Beslaget monteras först på bjälklagsplattan med dymlingar för att sedan monteras ihop med väggskivan enligt Figur 31 (4.4.5 *Infästningar väggskiva-bjälklagsplatta - TräGuiden*, 2017)

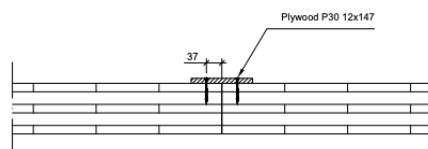


Figur 31: Exempel på infrästa beslag (Svenskt trä, 2017)

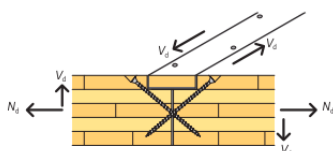
#### 4.3.4 Skarvar i KL-skivans plan

Skarvar mellan KL-träskivor kan utformas på flera olika sätt. Vanligtvis utförs dessa med hjälp av så kallad enkel eller dubbel lask, utanpåliggande lask, lös fjäder, skråskruvning, halvt-i-halvt eller specialbeslag såsom hylsor. Laskar kan bestå av fanérträ, plywood, dimensionshyvlat virke eller plattstål liknande spikplåtar (Svenskt Trä, 2017). Nedan följer en kort beskrivning på varje nämnd skarv.

Att skarva med en utanpåliggande lask enligt Figur 32 är troligtvis det enklaste sättet att skarva KL-element. Den utanpåliggande lasken kan även förstärkas med spikplåtar för att klara en större last. Lasken monteras med ankarspik eller ankarskruv och kan kompletteras med skråskruvning i skarven enligt Figur 33 (Martinsons, 2020).

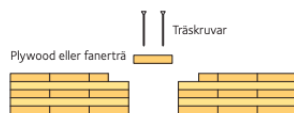


Figur 32: Exempel utanpåliggande lask (Martinson Materialguide, 2020)

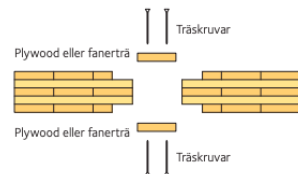


Figur 33: Skråskruvning av bjälklag (Svenskt trä, 2017)

Önskas istället ett montage som ger en jämn yta kan en infälld enkel- eller dubbellask användas, se Figur 34 samt Figur 35. Liksom den utanpåliggande lasken monteras dessa med ankarspik eller ankarskruv och betraktas som ett enkelskärigt förband vid användning av enkellask och dubbelskärigt förband vid användning av två laskar (4.4.1 *Förband i KL-träskivans plan - TräGuiden*, 2017).

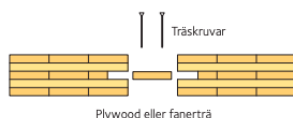


Figur 34: Exempel infälld enkellask (Svenskt trä, 2017)



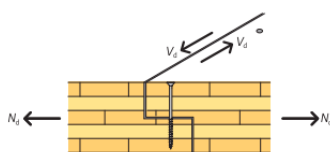
Figur 35: Exempel infälld dubbellask (Svenskt trä, 2017)

Att använda sig av en lös fjäder vid skarvning av KL-element är också en vanligt lösning. Fjädrarna skruvas eller spikas ihop med KL-elementet och bildar således ett tvåskärigt förband enligt Figur 36. Skarven kan också utformas med två fjädrar vilket således ger ett fyrskärigt förband. Denna typ av lösning kan ta upp krafter både längs och tvärs KL-skivans plan (Svenskt Trä, 2017).



Figur 36: Exempel lös fjäder (Svenskt trä, 2017)

Användningen av halvt-i-halvt metoden är väl beprövat inom träbyggnation. Skarven kan likt skarven med lös fjäder överföra krafter både längs och tvärs KL-skivans plan och metoden går snabbt att montera enligt Figur 37 (Svenskt Trä, 2017). Denna typ av skarv är dock extra känslig för toleranser vid CNC-fräsningen (Martinsons, 2020).



Figur 37: Exempel halvt om halvt (Svenskt trä, 2017)

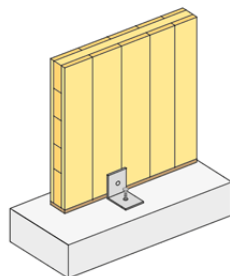
Många olika specialbeslag till särskilda lösningar finns också att tillgå idag. I huvudsak bygger dessa beslag på olika typer av haksystem. Haksystem innebär att beslag av antingen plåt eller aluminium monteras på KL-elementet i förväg enligt Figur 38 och hakas sedan ihop vilket ger ett dolt montage. Styrkan på skarven är helt beroende av antal beslag och dess storlek och utformning (Svenskt Trä, 2017).



Figur 38: Exempel specialbeslag (Svenskt trä, 2017)

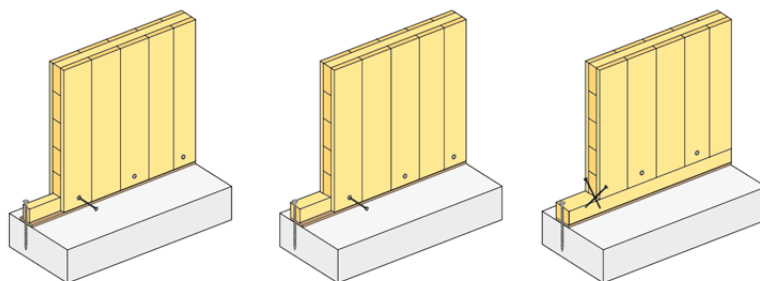
### 4.3.5 Metoder för sammanfogning av KL-vägg-grund

Skarven mellan en KL-skiva och grundplattan på byggnaden består vanligtvis av ett vinkelbeslag som gjutes eller svetsas fast i grundplattan, men montage kan även ske med hjälp av expanderskruv eller kemiskt ankarmassa. Beslagen kan sedan antingen lämnas synliga enligt Figur 39 eller byggas in med hjälp av ett installationsskikt på väggens insida. Då väggen vilar direkt på betongen bör en fuktspärr monteras på väggens undersida för att undvika vatteninträngning (4.4.6 *Infästningar väggskiva-grund, väggskiva-takplatta - TräGuiden*, 2017).



Figur 39: Infästning vägg-grund med vinkelbeslag (Svenskt trä, 2017)

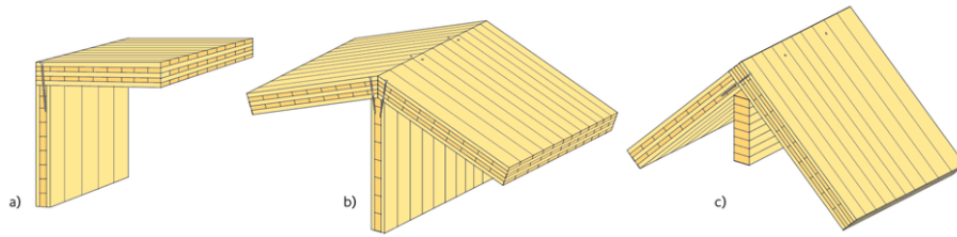
Infästningen mellan en KL-skiva och grundplattan kan också ske med hjälp av styrreglar enligt Figur 40. Styrregeln fästs på betongen med hjälp av expanderskruv eller expander-spik och KL-skivan skråskruvas i styrregeln. Under styrregeln monteras en fuktspärr för att undvika fuktöverföring från grundplattan till styrregeln (4.4.6 *Infästningar väggskiva-grund, väggskiva-takplatta - TräGuiden*, 2017)



Figur 40: Montage med hjälp av styrregel (Svenskt trä, 2017)

### 4.3.6 Metoder för sammanfogning av KL-vägg-tak

Infästning mellan KL-element och takplattor utförs vanligtvis på samma sätt som beskrivs i sektion 4.3.3 där den enklaste formen av montage sker med hjälp av självborrande träskruv enligt Figur 41 (4.4.6 *Infästningar väggskiva-grund, väggskiva-takplatta - TräGuiden*, 2017).



Figur 41: Infästning mellan KL-skivor och takplattor (Svenskt trä, 2017)

#### 4.3.7 X-RAD

X-RAD är en unik infästningsmetod utvecklat av Rothoblaas och är speciellt framtagen för KL-element. Komponenterna kan användas på KL-element med 100-200 mm tjocklek och monteras med självborrande träskruv på KL-elementets kanter och hörn enligt Figur 42a samt Figur 42b (Rothoblaas, 2021). Systemet består av två huvuddelar: X-ONE och X-PLATE, vars funktioner och egenskaper beskrivs nedan.

X-ONE består av ett beslag av metall som skruvas fast med tillhörande träskruv i hörnen på KL-elementet. Beslaget skruvas på plats innan montering då det kan också användas som lyftpunkt vid hantering av KL-elementet.



(a) X-ONE

(b) Montering av X-ONE tillsammans med X-PLATE

Figur 42: Användning och beskrivning av X-RAD (Rothoblaas, 2019)

X-PLATE är en stålplatta som används för att sammankoppla X-ONE beslag eller för att ansluta KL-elementet mot grund, tak eller pelare, se Figur 43a samt Figur 43b.



(a) Urval av X-PLATE

(b) Montering av X-PLATE på betongplatta

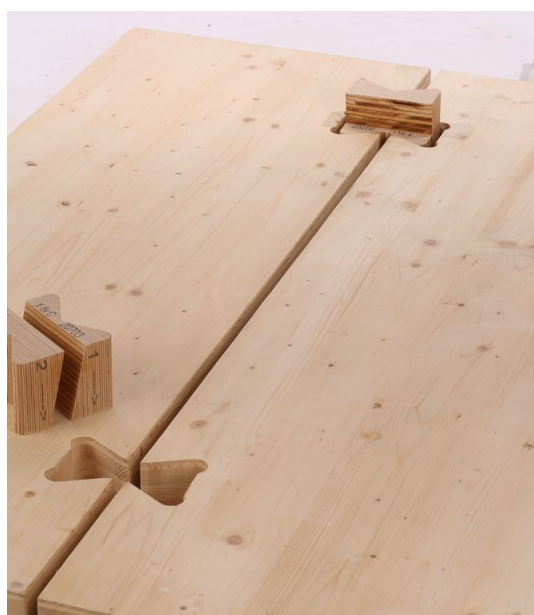
Figur 43: X-PLATE (Rothoblaas, 2019)

#### 4.3.8 X-FIX

X-FIX är infästningsmetod som bygger på självlåsand kopplingar. Kopplingens består av två CNC-frästa träblock vars tjocklek motsvarar de KL-element de monteras i för att säkerställa en jämn yta. Blocken slås ihop med hjälp av hammare eller slägga inuti urfrästa hål i KL-elementen och bildar således en självlåsand koppling enligt Figur 44a samt Figur 44b (X-FIX, 2021b). Kopplingen använder ingen metall i form av skruv eller spik och kan fräsas ut antingen i fabrik eller på plats med hjälp av en mall. Metoden har testats i bland annat Schweiz och Österrike (X-FIX, 2020) och har uppvisat goda resultat i form av hållfasthet, montagetid och implementering på redan existerande byggnader (X-FIX, 2021a).



(a) X-FIX låsningsklossar



(b) X-FIX monterad i väggelement

Figur 44: Användning och beskrivning av X-FIX (X-FIX, 2021)

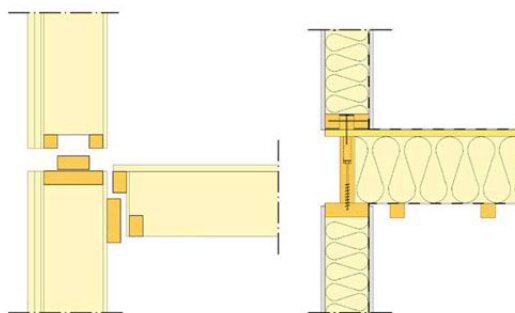
X-FIX används även för att sammanfoga hörn i KL-konstruktioner och kallas då X-FIX L. I änden på KL-elementen fräses spår som de CNC-frästa träblocken sedan slås ned i enligt Figur 45. Denna metod med dolt montage anses särskilt attraktiv då KL-elementet ska lämnas synligt invändigt (X-FIX, 2021c). Enligt X-FIX motsvarar en koppling bestående av X-FIX L samma tvärkrafts- och spänningskapacitet som 16 st 8 mm skruvar, 200 mm långa.



Figur 45: X-FIX L

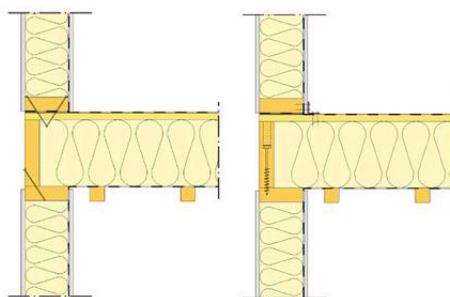
## 4.4 Sammanfogning av lösvirkeselement

Jämfört med en konstruktion bestående av öppna träelement behöver en konstruktion med slutna element en annan knutpunktsutformning för att klara av att överföra de krafter som uppstår i en byggnad (*Lättbygg - slutna element*, 2003). Den vanligaste metoden att sammanfoga bjälklag med yttervägg är genom att utforma kopplingen som en spont med not och fjäder enligt Figur 46. Kopplingen förankras sedan med träskruv från vardera håll.



Figur 46: Exempel på montering av slutna element med spontanslutning (Svenskt trä, 2003)

En alternativ metod är infästning med hjälp av vinkelbeslag, med förutsättningen att ett installationsskikt ska monteras på insidan av väggen för att dölja beslaget. Även skråskruvning av elementen förekommer enligt Figur 47. Det finns också metoder där elementens ändrar lämnas öppna, det vill säga utan inre ytskikt, diffusionspärr och stundtals även isolering. Vid användning av denna metod går dock fördelarna med prefab-element förlorade då mycket efterarbete krävs (*Lättbygg - slutna element*, 2003).



Figur 47: Exempel på skråskruvning och vinkelbeslagsmontage (Svenskt trä, 2003)

Vid montering av enskilda takstolar på prefabricerade väggelement placeras takstolarna på hammarbandet och fästes med hjälp av vinkelbeslag enligt Figur 48. Vinkelbeslagen fästes med ankarskruv eller ankaspik och placeras på varje sida takstolen (Lundqvist, 2021).



Figur 48: Montage av takstol på hammarband (Lundqvist Trävaru, 2021)

## 4.5 Alternativa sammanfogningsmetoder

### 4.5.1 Bosum Building Systems

Bosum Building Systems är ett system bestående av klossar av massivt trä som är 150 mm tjocka, 200 mm höga och finns i längderna 300, 450 eller 600 mm. På ovan- och undersidan av blocken fräses ett spår där en plywoodremsa monteras för att hålla fast blocken i varandra enligt Figur 49. Avslutningsvis spänns blocken ihop med dragstänger för att stabilisera väggen (*Moderna trähus - så går det till att bygga - Bosumhus*, u. å.).



Figur 49: Genomsnitt av Bosum Building Systems (Bosumhus, u. å.)

### 4.5.2 Isotimber

Isotimber är ett svenskt bolag som producerar byggblock av trä bestående av träreglar och urfrästa luftkanaler. Byggblocken utformas genom att tunna plywoodskivor limmas på sidan av stående träreglar varefter material ur träreglarna fräses ur för att bilda luftkanaler enligt Figur 50. Luftkanalerna ger väggen dess isolerande egenskaper. Vid behov av större bärlighet kan Isotimber kombineras med ett lager KL-trä på endera sidan (*IsoTimber stomsystem Teknikhandbok*, u. å.).

**IsoTimber 120 mm- U-värde 0,63 W/m<sup>2</sup>K - Vikt ca 60 kg/m<sup>2</sup>**



**IsoTimber 160 mm- U-värde 0,43 W/m<sup>2</sup>K - Vikt ca 73 kg/m<sup>2</sup>**



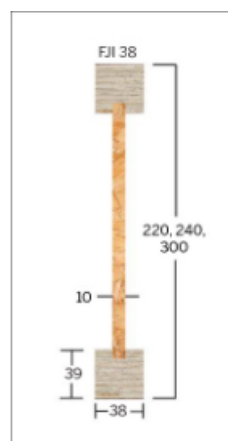
Figur 50: Exempel på Isotimberelement (Isotimber, 2020)

### 4.5.3 Finnjoist

Finnjoist I-beam är ett stomsystem utvecklat av Metsä Wood. Systemet består av träbalkar tillverkade i I-balksprofil med flänsar av Kerto-trä och liv av högkvalitativt OSB-material enligt Figur 51b (Metsäwood, u. å.). Balkarna kan tillverkas i varierande höjd och bredd efter behov. Kombinationen av OSB och Kerto-trä skapar en hållfast och stark balk som samtidigt är lätthanterlig vid montering och demontering. För att sammanfoga balkarna med varandra fräses hål med motsvarande plugg ut ur balkarna som sedan monteras ihop utan spik eller skruv enligt Figur 51a. Systemet är uppbyggt på modulär grund där varje modul är 1000 mm bred (*Wood framing system developed by SI-Modular, u. å.*).



(a) Montering av Finnjoist stomsystem

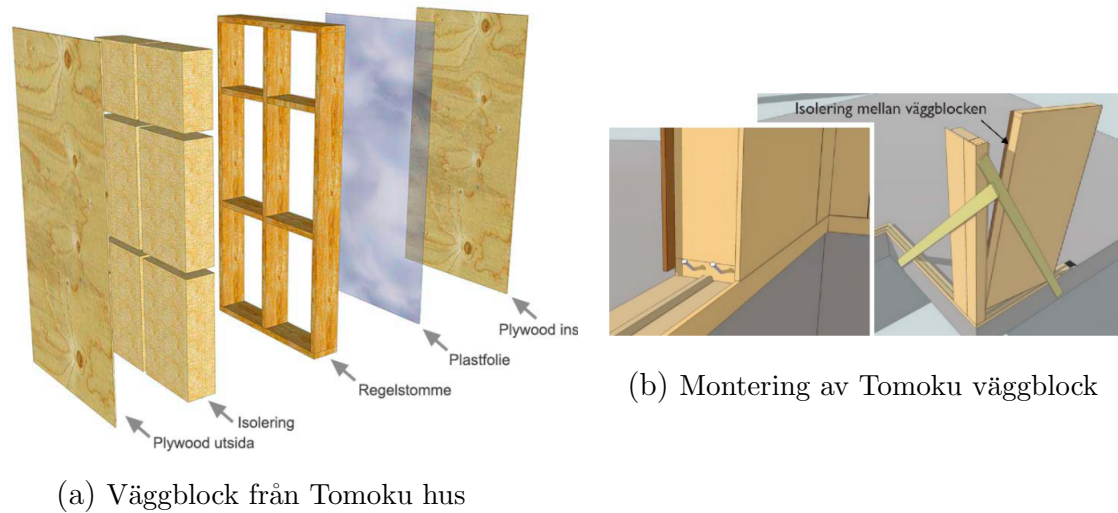


(b) Finnjoist I-beam

Figur 51: Användning och beskrivning av Finnjoist I-beam (Metsä Wood, u. å.)

#### 4.5.4 Tomoku Väggblock

Tomoku väggblock är ett system bestående av färdigisolerade väggblock med ytskikt av plywood enligt Figur 52a (Tomoku Hus AB, 2020). Väggblocken monteras på en förberedd syll med hjälp av en styrlist och skruvas eller spikas på plats enligt Figur 52b. Skarven mellan väggblocken isoleras innan montage av intilliggande block för att minimera köldbryggor och kalldrag.



Figur 52: Användning och beskrivning av Tomoku väggblock (Tomoku Hus, 2020)

## 5 Konstruktion av egen koppling

Denna sektion fokuserar på utformningen och framtagandet av prototyper av vägg-vägg kopplingar mellan KL-element. Anledningen till att kopplingar mellan KL-element valdes snarare än kopplingar mellan lösvirkeselement grundar sig i att dessa kopplingar kan utformas utan att påverka eventuell ångspärrutförande, isoleringsmetod eller liknande. En eventuell nyutvecklade koppling mellan lösvirkeselement bör utformas med dessa egenskaper i åtanke vilket komplicerar framtagandet av kopplingen avsevärt. 3 olika förslag på kopplingar togs fram och redovisas nedan.

### 5.1 Syftet med modifierad koppling

Kopplingarna designats för att uppfylla både DfD- samt DfA-principen. Målet med kopplingen är att både vägg-elementet ska vara möjligt att demonteras på ett enkelt sätt och samtidigt kunna demonteras utan att en större åverkan sker på intilliggande väggelement. För att KL-element enkelt ska kunna demonteras krävs det kopplingar som både är lätta att komma åt, okomplicerade att hantera och samtidigt skonsamma för träet. Att kopplingen är lätt att komma åt är viktigt för minimera demontering av invändig eller utvändigt beklädnad vid demontering av elementet i sig, vilket gynnar och motiverar återbruk av elementen. En enkel demontering underlättar även väsentligt vid reparation eller ombyggnad av en byggnad då enstaka element kan behöva bytas ut med minimal åverkan på intilliggande element. Syftet med en koppling som är skonsam mot träet är för att montering och demontering ska kunna ske åtskilliga gånger utan att skada träet, vilket skulle kräva enskilda lokala reparationer vid återbruk av trärelementet.

Då bärande väggar enligt Svenskt Trä (2020a) i huvudsak utsätts för vertikala laster från det ovanliggande bjälklaget eller taket, vilket resulterar i normalkrafter i väggens plan antas kopplingarna behöva dimensioneras för dessa krafter. Väggarna kommer troligtvis också utsättas för en horisontell last i form av antingen vindlast eller persontryck. Dessa horisontella laster ger i sin tur upphov till ett böjande moment som kopplingarna bör dimensioneras för att klara av (Svenskt Trä, 2020a). Närmare beräkningar kommer inte att göras för att uppskatta hur stora dessa krafter är eller för att bestämma kopplingarnas kapacitet, dock är vetskapen om dessa krafters existens viktig att ha i åtanke under designprocessen.

### 5.2 Metod vid framtagning av förslag på koppling

Vid ombyggnad eller reparation av byggnader av KL-trä ansågs väggelement gynnas mest av en ökad möjlighet till demontering och en ökad återbrukspotential. Detta eftersom väggelement behöver demonteras eller tas upp hål i vid påbyggnad av rum i samma plan eller andra åtgärder som ökar byggnadens fotavtryck. Ur återbrukssynpunkt ansågs även KL-väggar ha stor potential eftersom de inte endast är begränsade till montage i byggnader med trästomme, utan kan även återanvändas och monteras i befintliga byggnader med stål- eller betongstomme med hjälp av beslag. Med detta som bakgrund fokuserades utformningen av nya kopplingar till kopplingar i KL-skivans plan, vägg-vägg kopplingar.

Utefter detta val studerades de befintliga kopplingar som berör sammanfogning av KL-element i KL-skivans plan och en rangordning sattes upp med avseende på den befintliga kopplingens byggbarhet, återbrukspotential och möjlighet att demonteras på ett enkelt

sätt. Byggbarhetsaspekten anses viktig att ta hänsyn till då en enkel tillverkningsprocess av kopplingen inte bara är tidsbesparande utan bidrar även till ett okomplicerat och enkelt montage. Byggbarhetsaspekten går även hand i hand med möjligheten att demontera kopplingen på ett enkelt sätt, och då ett enkelt montage och enkel demontering gynnar återbrukandet av KL-elementet. Då återbrukandet gynnas av kopplingen höjs således dess återbrukspotentialen avsevärt. Utefter denna rangordning valdes sedan tre kopplingar som ansågs lämpligast och rationellast att modifiera för vidare utveckling av byggbarhet, återbrukspotential och demonteringsmöjlighet.

Vidare ritades 3D modeller av kopplingarna upp i Google Sketchup för att illustrera kopplingens utformning och tekniska lösningar. Till det modellerade KL-elementet ansattes en tjocklek på 300 mm då det enligt Svenskt Trä (2017) är den maximala tjockleken på KL-skivor. Tjockare KL-element existerar, men vanligtvis har en KL-skiva maximalt sju skikt. På väggens insida modellerades ett installationsskikt bestående av 45x45 mm reglar, 45 mm isolering samt 13 mm gipsskiva. Syftet med detta skikt i modellen är att illustrera hur kopplingen intrigeras i den färdiga konstruktionen.

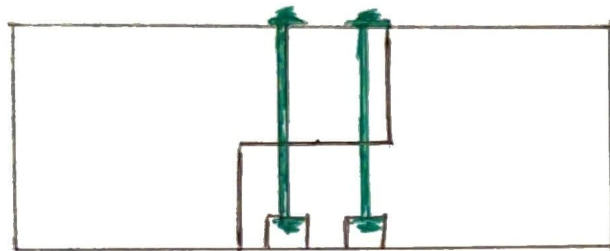
Slutligen byggdes fysiska prototyper av de framtagna kopplingarna med hjälp av 13 mm plywoodskivor som har skruvats ihop för att likna KL-element. Syftet med detta moment var att på ett praktiskt och tydligt sätt visa kopplingens byggbarhet och dess demonteringsmöjlighet. Bultar, muttrar och hålupptagningar är ej skalenliga i relation till elementets storlek, modellerna är främst till för att demonstrera konceptet och byggbarheten snarare dimensionerna på infästningsdon och storlek på urtag.

## 5.3 Beskrivning av koppling

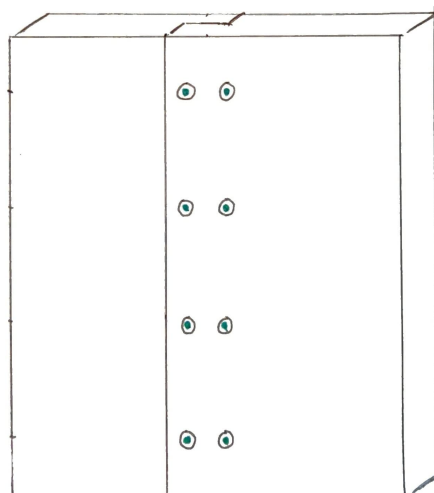
### 5.3.1 Halvt om halvt med vagnsbult

Denna kopplingen baseras på halvt om halvt-kopplingen som visas i Figur 37 i kap. 4.3.4. Den stora skillnaden är att de konventionellt använda träskruvarna är ersatta med vagnsbult med tillhörande mutter och bricka. Användningen av vagnsbult möjliggör ett enkelt montage eftersom vagnsbulten låses i träet och kan således monteras av endast en person från ena sidan av elementet förutsatt att bultarna har förmonterats. För att skapa en jämn yta invändigt tas hål ut, vars djup motsvarar muttern och brickans totala tjocklek, för muttern och brickan på insidan vägg vilken ger en slät yta enligt Figur 53a samt Figur 53b. Vid demontering lossas muttern och brickan och elementet kan lyftas bort med hjälp av lyftkran.

Vid dimensionering av denna koppling bör urtagen utformas så att förbandet har tillräcklig kapacitet med avseende på de krafter som väggen tar upp. Vid behov kan urtagen förstärkas med ett hårdare träslag för att förstyyva förbandet och motverka hålkantsbrott i träet.



(a) Skiss halvt om halvt, sedd från ovan

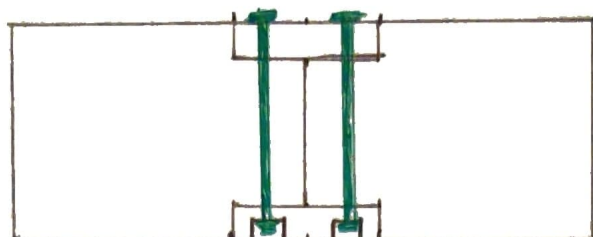


(b) Skiss halvt om halvt, sedd framifrån

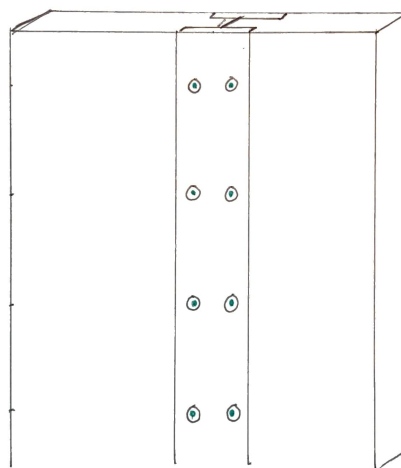
Figur 53: Skisser över halvt om halvt med vagnsbult (Egna foton, 2021)

### 5.3.2 Dubbellask med vagnsbult

Denna koppling baseras på den koppling med dubbellask som beskrivs i Figur 35 i kap. 4.3.4. Även här används vagnsbult för att säkerhetsställa enkla montage- och demonteringsmoment. Hål för bultskallarna och muttrarna med brickor tas ut ur båda laskarna för att erhålla en jämn yta enligt Figur 54a samt Figur 54b.



(a) Skiss dubbellask, sedd från ovan



(b) Skiss dubbellask, sedd framifrån

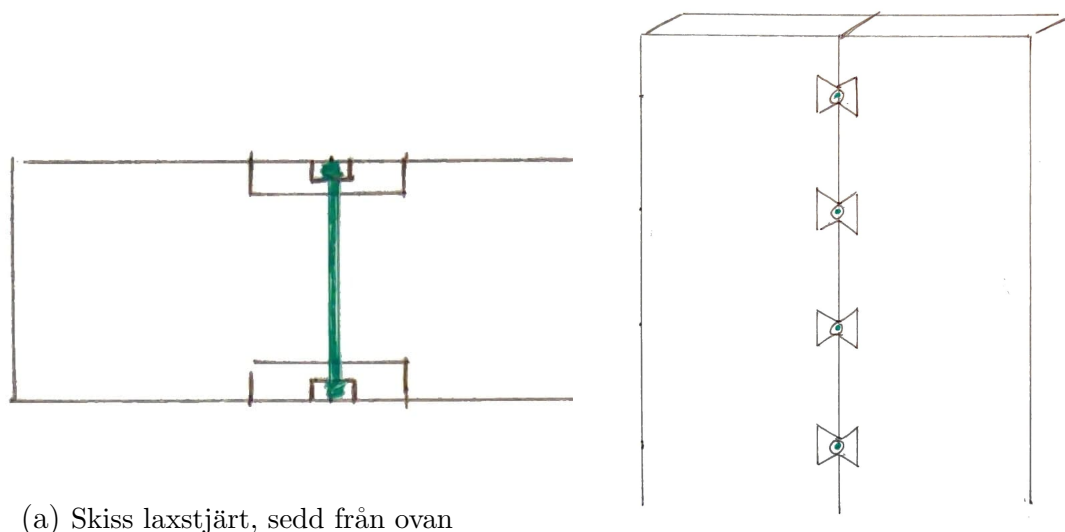
Figur 54: Skisser över dubbellask med vagnsbult (Egna foton, 2021)

Liksom för halvt om halvt-förbandet kan laskarna tillverkas av ett hårdare träslag om förbandets kapacitet är otillräcklig.

### 5.3.3 Laxstjärt med vagnsbult

Denna typ av koppling har vissa likheter med X-FIX som beskrivs i kap 3.3.8 med avseende på form och princip, men skiljer sig avsevärt med avseende på demonteringsmöjligheter

och återbruk. Då X-FIX slås in skapas en permanent koppling enligt X-FIX (2021b) som måste förstöras för att demontera elementen. Den reviderade kopplingen å andra sidan bygger på en kombination av X-FIX och ett traditionellt skruvförband och är avsevärt enklare att demontera då det inte behöver demonteras med förstörande medel. Kopplingen består av två stycken kilformade, även kallat laxstjärtsformade, träplattor bestående av antingen restprodukter från tillverkningen av KL-trä eller annan typ av hårdare träslag enligt Figur 55a samt Figur 55b.



(a) Skiss laxstjärt, sedd från ovan

(b) Skiss laxstjärt, sedd framifrån

Figur 55: Skisser över laxstjärt med vagnsbult (Egna foton, 2021)

Vid montage fixeras antingen en vagnsbult eller gängstång med likvärdig längd som KL-elementets tjocklek i ena träplattan och i den andra träplattan fräses ett hål ur för mutter och bricka. Träplattorna monteras i CNC-frästa spår på vardera sida på KL-elementet och spänns sedan ihop med mutter och bricka, förslagsvis från insidan byggnaden för att underlätta åtkomst. Vid demontering lossas muttern och brickan och den inre träplattan kan tas loss. För att lossa den yttre plattan kan en hammare eller slägga användas för att slå ut gängstången och således även den utvändiga plattan.

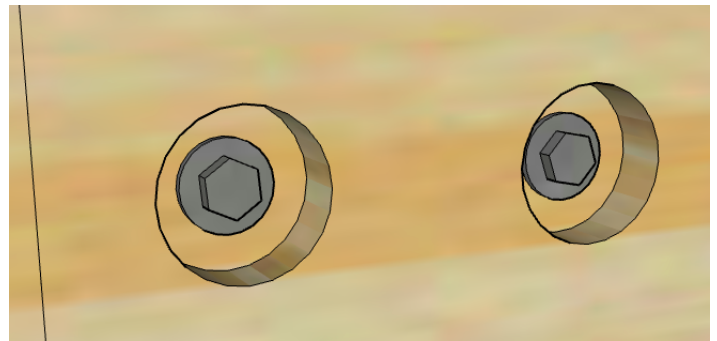
## 5.4 Modellering i Google Sketchup

### 5.4.1 Halvt om halvt med vagnsbult

Vagnsbultarna placerades initialt 300 mm från ovan- och undersidan med ett lodrätt CC-avstånd på 600 mm och ett vågrätt CC-avstånd på 200 mm. CC-avståndet 600 mm valdes för att undvika reglarna till installationsskiktet och således möjliggöra demontering av elementet utan att demontering av reglarna behövs.



(a) 3D-modellering av halvt om halvt förband



(b) Infräsning av mutter och bricka

Figur 56: Översikt och detalj om halvt om halvt förband (Skärmdump från Google Sketchup, 2021)

#### 5.4.2 Dubbellask med vagnsbult

Vagnsbultarna placerades på samma avstånd som beskrivs i kap. 4.2.1 och urfräsning för muttrarna sker på likadant sätt. Vid demontering av denna koppling lär installationsreglarna behöva demonteras för att den inre lasken ska kunna lossas och tas inåt i byggnaden. Möjliggörs åtkomst rakt ovanifrån kan bultarna på den sidan i lasken som förankrar elementet lossas och tas ut vilket leder till att elementet kan lyftas rakt uppåt utan åverkan på intilliggande element. Vid återmontering kan elementet lyftas in mellan laskarna och förbandet kan i det fallet liknas en spontad plankvägg. Detta förutsätter dock att det eventuella installationsskiktet inte är förankrat till elementet som tas bort.

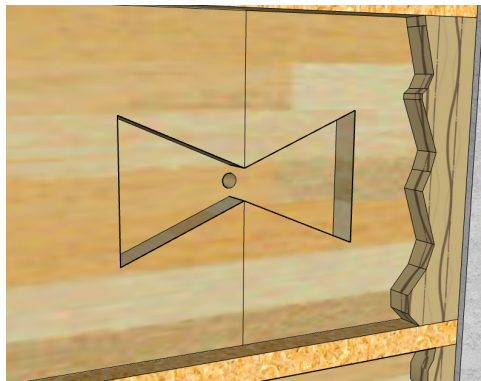


Figur 57: 3D-modellering av dubbellask med vagnsbult (Skärmdump från Google Sketchup, 2021)

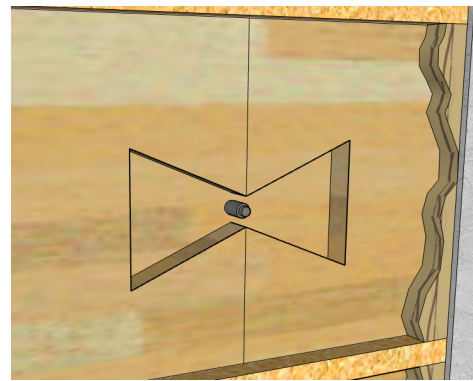
#### 5.4.3 Laxstjärt med vagnsbult

De urfrästa spåren för laxstjärtarna placerades liksom vagnsbultarna 300 mm från kanten av KL-elementet och med ett inbördes CC-avstånd på 600 mm. Träplattorna överdimensionerades för att tydliggöra position och utformning av samtliga komponenter i kopplingen, i verk-

ligheten antas plattorna kunna dimensioneras till en mindre storlek med ett tätare CC-avstånd. Den tydliga avsmalning som sker precis i skarven i centrum på träplattan kommer troligtvis inte utformas på samma sätt i verkligheten. Detta beror främst på att denna del kommer ta upp krafter från träplattan och överföra dessa till KL-skivan och bör således dimensioneras för att klara större krafter. Träplattorna kan bestå av antingen KL-trä eller en hårdare typ av träslag. Vid synligt montage kan även plattorna framställas som ett dekorativt element med hjälp av färg- och materialval.

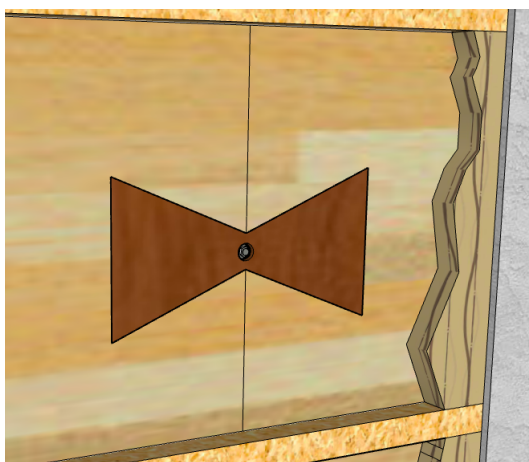


(a) Montering av fjäril steg 1

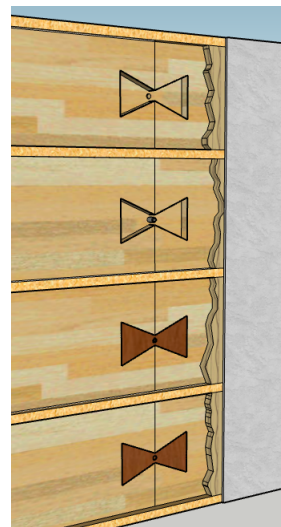


(b) Montering av fjäril steg 2

Figur 58: Montageförlopp över fjärilskoppling (Skärmdump från Google Sketchup, 2021)

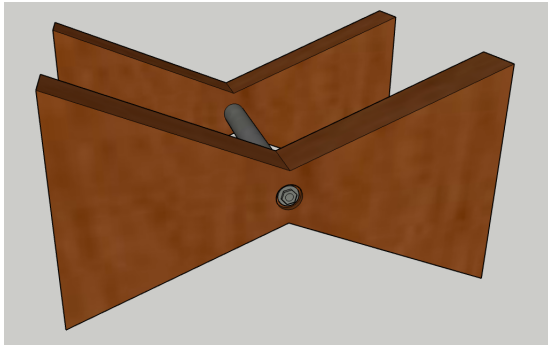


(a) Steg 3

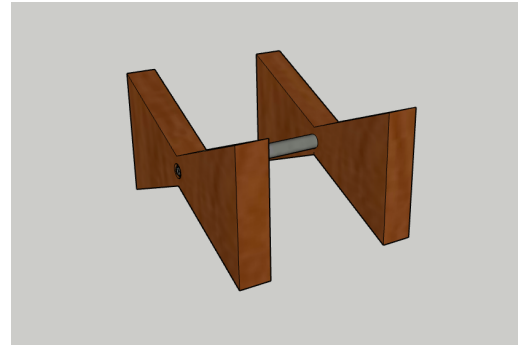


(b) Översikt fjärilar

Figur 59: Slutmontage och översikt fjärilar (Skärmdump från Google Sketchup, 2021)



(a) Närbild över fjärilslåsning



(b) Fjärilskoppling sedd snett från sidan

Figur 60: Översikt över fjärilskopplingen (Skärmdump från Google Sketchup, 2021)

## 5.5 Modellering i plywood

### 5.5.1 Halvt om halvt med vagnsbult

Vid uppbyggnad av prototypen observerades det att vid demontering av den vänstra väggdelen i Figur 61a (utsidan byggnaden antas uppåt i bild) krävs demontering av intilliggande element för att frigöra elementet från konstruktionen om ett bjälklag antas ligga ovanpå väggen. Detta innebär att i värsta fall kan båda intilliggande elementen behöva demonteras för att frigöra elementet i mitten. Alternativt kan vagnsbultarna ersättas med konventionella bultar eller gängstänger som kan dras ut ur kopplingen vilket tillåter elementet att vridas enligt Figur 62b varav elementet kan lyftas ur byggnaden. Vid återmontering av elementet gäller samma process i omvänd ordning. Resterande vyer av kopplingen kan studeras i Figur 61b samt Figur 62a.



(a) Koppling sedd från ovan



(b) Demonterad halv om halv koppling

Figur 61: Prototyp av halv om halv koppling (Eget foto, 2021)



(a) Montering av vagnsbult



(b) Demontering av halvt om halvt koppling

Figur 62: Prototyp av halv om halv koppling (Eget foto, 2021)

### 5.5.2 Dubbellask med vagnsbult

Vid konstruktion av denna koppling framgick det att om väggen ska demonteras på samma sätt som beskrivs i kap 5.3.1 kan väggen demonteras på så sätt att ingetdera av de intilliggande elementen behöver demonteras. När laskarna demonterats helt och hållet kan elementet tas ur antingen utifrån eller innefrån (uppåt eller nedåt i bild i fig 63b). Önskas elementet istället tas ut från sidan, förutsatt att inget element finns bredvid, kan vagnsbultarna med fördel ersättas med gängstänger eller konventionella bultar som kan dras ur konstruktionen och möjliggöra demontering i sidled utan att påverka det kvarvarande elementet. Olika vyer av kopplingen kan studeras i Figur 63a, Figur 64a samt Figur 64b.



(a) Översikt monterad dubbellask



(b) Monterad dubbellask-koppling sedd från ovan

Figur 63: Prototyp av dubbellask-koppling (Eget foto, 2021)



(a) Koppling sedd från ovan



(b) Delvis demonterad dubbellask-koppling

Figur 64: Prototyp av dubbellaskkoppling (Eget foto, 2021)

### 5.5.3 Laxstjärt med vagnsbult

Vid konstruerande av denna koppling framgick det tydligt att precisionen i fräsningen och kvaliteten på virket är avgörande för att en hög slutfinish ska uppnås, något som ställer höga krav på tillverkningsprocessen av dessa kopplingar om synligt montage önskas. Då majoriteten av KL-element bearbetas i en CNC-fräs anses inte detta vara något större hinder, men i det fallet att redan monterade element ska anpassas till denna typ av koppling ställs stora krav på verktygen och metoden som används för att säkerställa en stark koppling. Prototypen visar även tydligt i Figur 65b samt Figur 67b hur lite trä som går förlorat och ersätts med metall i kopplingen. Då trä har bättre isoleringsegenskaper än metall bidrar detta till ett bättre isoleringsvärde i skarven jämfört med en skarv bestående av fler bultar. I Figur 66a demonstreras hur demontering av kopplingen ser ut när den ena träplattan har demonterats och den kvarvarande träplattan slås eller trycks ut. Övriga vyer kan studeras i Figur 65a, Figur 66b samt Figur 67a.

Liksom för kopplingen bestående av dubbellask möjliggör denna typ av koppling att väggen kan demonteras både utåt från och inåt i byggnaden för att sedan lyftas bort utan större åverkan på intilliggande element. Återmontering av elementet sker enkelt genom att elementet ställs på plats och kläms sedan på plats med hjälp av träplattorna med hjälp av mutter och bricka.



(a) Monterade laxstjärtskopplingar



(b) Genomskäring av laxstjärtskoppling

Figur 65: Översikt laxstjärtskoppling (Eget foto, 2021)



(a) Laxstjärtskoppling i demonteringsfas



(b) Översikt över omonterade laxstjärtskopplingar

Figur 66: Översikt laxstjärtskoppling (Eget foto, 2021)



(a) Närbild på mutter och bricka



(b) Genomskärning laxstjärtskoppling 2

Figur 67: Översikt laxstjärtskoppling (Eget foto, 2021)

## 6 Analys och diskussion

Detta kapitelns syfte är att analysera och diskutera resultatet av arbetet samt ta upp förslag på fortsatta studier inom ämnet. Kapitlet har delats in i mindre delkapitle där varje del diskuterar de områdena arbetet berör.

### 6.1 Utveckling av kopplingar

Syftet med detta arbete var att undersöka om befintliga kopplingar kunde modifieras till att vara mer demonteringsvänliga. Vid uppsamling av information om de befintliga kopplingarna blev det tydligt att de tidiga byggmetoderna, som baserades på förband som hölls ihop av egentygnd eller dymlingar av trä, var relativt lätta att demontera och återanvända jämfört med senare sammanfogningsmetoder. Fram till 1700-talet användes mest handsmidd spik innan klippspiken utvecklades och började implementeras i Sverige (*Spik och spikning - Svenska Byggnadsvårdsföreningen*, 2008) och således var spik ett dyrt material som inte användes i onödan. Masstillverkningen av trådspik tog fart i Sverige i mitten av 1800-talet vilket bidrog till att spik blev betydligt billigare att använda (Gunnebo Fastening, u. å.) och användningen av spik blev på så sätt mer och mer vanligt på byggarbetsplatser. På grund av trådspikens räfflade sidor som greppade träet i hållfasthetssyfte och släta huvud som hamnade jämnas med träytan blev tråelement svårare att demontera utan att skada träet vid utdragning av spik och således blev byggnaderna svårare att demontera och återanvända jämfört med tidigare. Demontering av spik lämnar även efter sig spikhål som kan anses fula och vid spikning i samma spikhål uppnås inte samma grad av hållfasthet som tidigare. Genom ökad användning och tillgängligheten av träskruv, introduktionen av KL-trä i Sverige på 1990-talet samt en ökad användning av prefabricerade tråelement har träbyggnader under 1990- och 2000-talet blivit mer lika de byggnader som byggdes för 200 år sedan med avseende på demonterbarhet och återanvändningsmöjligheter. Framför allt har användningen av skruv och beslag som till exempelvis X-RAD bidragit då de ger ett starkt förband som samtidigt är lätt att demontera. Samma typ av förband där skruvarna är ersatta av spik är betydligt svårare att demontera och är därför mer tidskrävande.

Anledning till att kopplingar mellan just KL-element valdes grundas i egen praktisk erfarenhet. Under arbetets gång gjordes ett platsbesök på en arbetsplats där ett garage monterades med hjälp av öppna element som bestod av träpanel, vindduk och en provisorisk trästomme av 45x45 mm träreglar. Vid färdigställning av montaget av väggelementen upptäcktes ett misstag då ett av elementen hade monterats upp och ned. De öppna elementen sammanfogades med hjälp av träskruv och trots att det felvända elementen var placerat mitt i en vägglängd, var elementet mycket lätt att demontera och vända rätt för hand. Kopplingen mellan dessa typer av element ansågs därför vara mycket optimerad med avseende på demontering och montering och fokus lades därför primärt på kopplingar mellan KL-element.

Vid användningen av demonterbara väggar kan argument även ges för att väggelement inte ska vara alldeles för stora. Visserligen går byggnaden snabbare att resa och stora element bidrar till mindre transporter, men vid händelse av till exempelvis en vattenskada eller att byggnaden ska anpassas utefter andra behov skapar de stora väggelementen ett hinder. Förslagsvis kan de områden som anses vara utsatta för en större fara till exempelvis väggar i nära anslutning till VVS-centraler, apparatskåp eller väggar placerade

i utsatt läge utformas i mindre dimensioner för att undvika onödigt arbete vid demontering. Stora och långa väggelement är ofta bärande i en konstruktion och är således mycket opraktiska att demontera vid en eventuell reparation om byggnaden ska behålla sin bärighet samtidigt.

## 6.2 Cirkulärt tänkande och användningen av trä

Det cirkulära tankesättet är inget nytt i Sverige. Redan vid tillverkningen av timmerhus fanns implementerade metoder som tillät huset att demonteras för att sedan förflyttas i mindre bitar, ibland monterades även timmerhus ihop provisoriskt på en tillfällig plats för att sedan sjunka ihop, ”sätta sig”, innan det demonterades igen för att sedan transporteras till dess slutgiltiga plats. Samma typ av problem med byggnadsdelar som sjunker ihop efter tid är ingenting byggbranschen upplever idag, men konceptet med att bygga upp en byggnad på en annan plats för att sedan flytta den till sin slutgiltiga plats kvarstår i form av fabriker som tillverkar prefab-element såsom KL-skivor eller slutna väggelement. Undersökningar visar även att byggandet av prefabricerade hus, framförallt villor, ökar stadigt i Sverige och jämförs traditionella lösvirkeshus med prefabricerade villor väger fördelen för de prefabricerade villorna i dess korta montagetid, ett vädertätt hus är mycket viktigt att erhålla tidigt i byggprocessen för att kunna värma upp och samtidigt torka ut huset med hjälp av värmefläktar. En stomme av lösvirke tar visserligen ingen direkt skada av att resas i regn, men innan väggarna isoleras och täcks med byggskivor måste regelstommen fukthalt mätas för att säkerställa att mögel inte uppstår inuti väggen.

En anledning till att timmerstommar och stommar av stolpverk tillverkades på så sätt att de var lätta att demontera kan grunda sig framställningen av materialet. Innan industrialiseringen kom, och underlättade tillverkningsprocessen av så gott som alla material, var det mycket tidskrävande att tillverka exempelvis en stock till ett timmerhus då det endast fanns handverktyg att tillgå. På grund av detta ansågs materialet och råvaran mer värdefull och togs tillvara på i stor utsträckning och återanvändes då i större utsträckning. Men i och med industrialiseringens framfart blev material enklare att tillverka och ansågs således mindre värdefull vilket bidrog till ökad avfallsgenerering och mindre återvunnet material. För att minska mängden genererat avfall från moderna demonterbara träbyggnader kan vara att optimera elementen på så sätt att de består av mer solida material, istället för ett flertalet lager byggskivor som kan existera på befintliga element idag. En preliminär lösning på detta vid användning av KL-skivor är att öka tjockleken på KL-skivorna och minska tjockleken på isoleringslagret, eventuellt lämna KL-skivorna synliga i konstruktionen. Trä har goda isoleringsegenskaper och kan således ersätta isolering utan att exempelvis väggblocket får ett sämre isoleringsvärde. Tack vare denna metod kan återanvändning eller återvinning av hela skivan nästintill garanteras då övriga material förutom KL-skivan hålls till ett minimum.

Att produktionen av trä som byggmaterial är miljövänligare än produktionen av betong eller stål råder det inga tveksamheter om. Figur 3 i kapitel 2.3 visar tydligt att utförandet av ett bostadsområde med byggnader bestående av betongstommar släpper ut betydligt mer växthusgaser än likvärdiga byggnader med trästomme. Grafen visar dock endast utsläppen under produktionsfasen och inte under driftfasen av området. Som byggmaterial har betong en högre värmelagringskapacitet än trä vilket leder till att trähus kräver mer underhållsvärme för att behålla ett behagligt inneklimat vilket sannolikt leder till ett ökat koldioxidavtryck, såvida inte energin kommer från förenyelsebara energikällor.

Hurvida denna skillnad i energiåtgång står sig i proportion till byggnadens totala energikrav under sin livscykel är inte fastställt, men att hålla ner utsläppet av koldioxid till så låga nivåer som möjligt genom hela livscykeln anses positivt. Under rivningen av byggnaden är platsgjuten betong dessutom svår att återvinna eftersom den inte är demonterbar i hela stycken och behöver således bilas eller knackas bort. Betongmassorna kan rimligtvis återanvändas som fyllnadsmaterial, men avfallet kräver mycket efterarbete för att sortera betongen från den ingjutna armeringen.

### 6.3 Flexibla byggnader och dess primära användningsområden

Al-Salehi R (2019) skriver i en artikel i Fastighetsnytt att den miljövänligaste och hållbara byggnaden sägs vara den som inte byggs alls. Att istället anpassa befintliga byggnader utefter de behov som existerar är inte bara bättre för miljön under kan även bevara gamla byggnader för att behålla det antikvariska värdet i en stadsdel om byggnaden i fråga innehar ett kulturhistoriskt värde. I exemplen med Gårda fabriker och de gamla båtvarven på Älvstranden i Göteborg visas det att återbruk av gamla fabrikslokaler inte bara undviker uppförande av nya byggnader, utan ger även en unik känsla i byggnaden förknippad med dess historia. Kanske skulle ett tillvägagångssätt för att bevara gamla byggnader vara att spara och bevara utsidan på byggnaden och sedan resa en modern demonterbar trästomme invändigt? Detta skulle resultera i att en historisk byggnad kan fylla flera syften och verksamheter under sin livscykel utan att dess yttre skepnad ändrar sig avsevärt.

Även enfamiljshus och parhus verkar gynnas av ett flexibelt byggande. Phillips m. fl. (2016) beskriver hur husbyggande måste implementera flexibla byggnader med modulära byggmetoder för att hantera växande familjer i Australien, men trots att mycket forskning har gjorts inom prefabricerade konstruktioner har mycket lite gjorts för att utforska dess hållbarhetsmöjligheter. Möjligheten till att bygga ut sin bostad i form av moduler verkar dock inte vara det som avskräcker fastighetsägare. Thormark (2008) beskriver att när marknaden för begagnade byggmaterial introducerades i Sverige på 1990-talet möttes den av skepsis från byggsektorn. Motargumenten handlade om att det inte var ekonomiskt lönsamt med selektiv rivning och återanvändning av byggmaterial med tillhörande åtgärder ansågs vara en trend som skulle gå över. Marknaden finns dock kvar i Sverige ännu idag och består till majoritet av begagnade fönster, dörrar, takpannor m.m. Även gamla timmerstommar finns att köpa vilket vittnar om en att en efterfrågan på gamla trästommar att återanvända existerar. Visserligen besitter en timmerstomme oftast ett kulturhistoriskt värde, men då en timmerstomme är avsevärt lättare att demontera än en spikad regelstomme kanske en omställning till demonterbara moderna trästommar även gynna återbruket 50 till 100 år i framtiden.

### 6.4 Jämförelse modifierade och befintliga kopplingar

Vid framtagning och utveckling av de modifierade kopplingarna hölls två huvudsaker i åtanke: lätt att demontera för att återbrukas men ändå ge ett starkt förband, samt hållbarhet över tid vilket leder till kopplingar som tål att demonteras gång på gång och elementen kan återanvändas åtskilliga gånger utan att lokala reparationer eller renovering av elementen krävs. Användningen av träskruv rationaliserades tidigt bort då upprepad montering och demontering av träskruv försvagar träet avsevärt. Vid användning av vagnsbult förborras istället ett hål och bulten kan monteras och demonteras ett stort

antal gånger utan att skada träet vilket gör det till en betydligt hållbarare sammanfogningsmetod sett över tid.

Utförningen av halvt om halvt-kopplingen och kopplingen med dubbellask gör att dessa upplevs som två kopplingar som både är hållbara samt enkla att montera och demontera på plats. Användningen av bult och mutter istället för skruv eller spik skonar träet avsevärt eftersom de inte lämnar efter sig skruv- eller spikhål som skadar träet. Något som däremot måste tas hänsyn till är hur urtaget av trä påverkar kopplingarnas hållfasthet, tas för mycket trä bort riskerar träet i förbandet att spricka då förbandet belastas. Detta kan visserligen motverkas genom användningen av ett hårdare träslag som beskrivs i kap. 6.1.1 och 6.1.2, men för att spara på tillverkningskostnader bör förbandet optimeras med avseende på dess kapacitet. Som beskrivet i kap. 4.3.4 finns det åtskilliga kopplingar som nyttjar skruvar snarare än bultar, kanske kan dessa kopplingar också anpassas för användningen av bult och mutter istället vilket gynnar återbrukbarheten och demonteringsmöjligheterna.

Syftet med laxstjärts-kopplingen med vagnsbult är att vid montage behövs varken spik eller skruv för att erhålla en stark och beständig koppling som samtidigt kan demonteras med hjälp utav enkla medel. Utmaningen med att använda sig av laxstjärts-kopplingen anses initialt vara toleranserna som krävs för att minimera rörelser mellan KL-skivorna och samtidigt vara lätt att montera då kopplingen bygger på mycket små toleranser och friktion mellan elementen. I det fall att toleranserna är för stora och glipor skapas mellan KL-elementen kan glipan antingen drevas med isoleringsband eller kan isolering mellan KL-elementen förmonteras redan innan montage för att säkerhetställa en tät skarv. Eftersom trä är ett levande material måste även rörelser över tid tas i beaktning vid användning av det här typen av kopplingar. Materialet runt kopplingen kan röra sig beroende på omgivningens fukthalt och träets krytning och således klämma fast kopplingen vilket gör den svår eller omöjlig att demontera utan att använda förstörande metoder. Problemet med rörelse i träet anses inte lika stort när det gäller användning av X-FIX kopplingen då dess syfte är ett permanent montage, men den typen av koppling minskar även möjligheterna till återbruk på grund av sin permanenta låsning. För att vidareutveckla denna typ av koppling bör beräkningar utföras för att bestämma förbandets tvärkrafts- och momentkapacitet samt hur stora möjligheterna till demontering är i fullskaliga modeller. En verklig dimensionering av träplattorna bör också utföras då de är överdimensionerade i 3d-modellen och prototypen för att illustrera formen och funktionen. Jämförs X-FIX och laxstjärts-kopplingen består X-FIX av betydligt mindre träplattor än de som ritades upp i Google Sketchup och det antas att laxstjärts-kopplingen kan ha liknande dimensioner.

Användningen av specialbeslag såsom X-RAD och X-FIX verkar inte ha implementerats på svenska marknaden ännu. Anledningen till detta kan antas vara okunskap om kopplingen, osäkerhet i form av beständighet vid brand och kostnad vid montage. Enligt Rothoblaas (2017) ska X-RAD bidra med både kortare montagetid och totalt en lägre arbetskostnad, men ingenstans redovisas den faktiska kostnaden av ett X-RAD beslag.

## 6.5 Fortsatt arbete

För att fortsätta utvecklingen av demonterbara kopplingar kan vidare utvärdering av kopplingarna med avseende på brandskydd, isoleringsförmåga och hållfasthetsegenskaper göras. Optimering av laxstjärtskoppling med avseende på dess form bör också göras för att säkerhetsställa att kopplingen har tillräcklig kapacitet. Nya kopplingar kan också tas fram baserade på existerande kopplingar, och fullskaliga prototyper kan konstrueras för att vidare utforska kopplingens byggbarhet och demonteringsmöjligheter.

## 7 Slutsats

Utefter den information om kopplingar mellan KL-element och regelstommar, utvecklandet av modifierade kopplingar samt den ökande cirkulära ekonomin inom byggsektorn kan följande slutsatser dras:

### 7.1 Nuvarande infästningsmetoder

- KL-element sammanfogas vanligtvis med hjälp av träskruv och beslag.
- Prefabricerade lösvirkeselement kan sammanfogas med hjälp av flera olika metoder som bygger på olika principer. Vanligast är med hjälp av träskruv och spontanslutning.
- Specialiserade lösningar för sammanfogning av KL-element finns på marknaden, men har inte ersatt det konventionella skruvförbandet ännu.

### 7.2 Fördelar och nackdelar med nuvarande metoder

- Skruvförband bidrar till ett enkelt montage av trä-element. Vid upprepad montering och demontering kan skruvarna skada träet vilket kan reducera förbandets kapacitet.
- Förband som spikas ihop är svåra att demontera på grund av att förstörande metoder erfodras för att dra ut spikarna.
- Specialiserade lösningar bidrar ofta med ett enkelt montage- och demonteringsmoment, men dessa har inte etablerats tillräckligt på den svenska marknaden hittills.

### 7.3 Modifiering av befintliga metoder

- Stora förändringar i möjligheten till demontering av trä-element kan göras om infästningsdonen byts ut från spik eller skruv till bultar eller helgångade stänger.
- Implementering av självlåsand kopplingar bidrar till minskad användning av fästdon av metall och skonar på så sätt träet.

### 7.4 Byggnader som gynnas av cirkulär ekonomi

- För att anpassa sig till förändrade samhällsuppbyggnader och familjeförhållanden bör framtidens bostäder byggas med modularitet och flexibilitet i åtanke.
- Historiska byggnader kan återbrukas och inhysa flera olika verksamheter om dess interiör är enkel att bygga om med avseende på de krav som ställs på byggnaden.
- Implementeringen av DfD och DfA är oundgänglig för att en byggnad ska kunna demonteras och återbrukas på ett rationellt sätt.

## Referenser

- 4.3.1 *Träskruvar, skruvar och dymlingar - TräGuiden.* (2017). Hämtad från <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/forband-och-anslutningsdetaljer/4.3-oversikt-av-forbandstyper/4.3.1-traskruvar-skrugar-och-dymlingar/>
- 4.4.1 *Förband i KL-träskivans plan - TräGuiden.* (2017). Hämtad från <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/forband-och-anslutningsdetaljer/4.4-utforande-och-detaljlosningar/4.4.1-forband-i-kl-traskivans-plan/>
- 4.4.4 *Infästningar väggskiva-väggskiva - TräGuiden.* (2017). Hämtad från <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/forband-och-anslutningsdetaljer/4.4-utforande-och-detaljlosningar/4.4.4-infastningar-vaggskiva-vaggskiva/>
- 4.4.5 *Infästningar väggskiva-bjälklagsplatta - TräGuiden.* (2017). Hämtad från <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/forband-och-anslutningsdetaljer/4.4-utforande-och-detaljlosningar/4.4.5-infastningar-vaggskiva-bjalklagsplatta/>
- 4.4.6 *Infästningar väggskiva-grund, väggskiva-takplatta - TräGuiden.* (2017). Hämtad från <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/forband-och-anslutningsdetaljer/4.4-utforande-och-detaljlosningar/4.4.6-infastningar-vaggskiva-grund-vaggskiva-takplatta/?previousState=00010>
- 6.3.2 *Stomstabilitet - TräGuiden.* (u. å.). Hämtad från <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/vaggar/6.3-stomstabilitet/6.3.2-stomstabilitet/>
- Al-Salehi R, R. (2019). *Vi ska inte bygga, vi ska förvalta - Fastighetsnytt.* Hämtad från <https://www.fastighetsnytt.se/samhallsbyggnad/hallbarhet/vi-ska-inte-bygga-vi-ska-forvalta/>
- Boverket. (2018). *Krav på byggnadsverk.* Hämtad från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/krav-pa-byggnadsverk-tomter-mm/byggnadsverk/>
- Boverket. (2019). *Mått på bostadsbristen Förslag på hur återkommande bedömningar ska utföras* (forskningsrapport). Boverket. Hämtad från <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2020/matt-pa-bostadsbristen.pdf>
- Drömlägenheten — White Arkitekter. (2017). Hämtad från <https://whitearkitekter.com/se/projekt/dromlagenheten-dream-home/>
- Fastighetssverige. (2016). *Studentbostäder byggs vid Lindholmspiren.* Hämtad från <https://www.fastighetssverige.se/artikel/studentbostader-byggs-vid-lindholmspiren-20963>
- Ferdous, W., Bai, Y., Ngo, T. D., Manalo, A. & Mendis, P. (2019). New advancements, challenges and opportunities of multi-storey modular buildings – A state-of-the-art review. *Engineering Structures*, 183(October 2018), 883–893. Hämtad från <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.061> doi: 10.1016/j.engstruct.2019.01.061

- Görfelt, G. (2017). Fläktar ska få bort möglet på Lindholmen. *Hem&Hyra*. Hämtad från <https://www.hemhyra.se/nyheter/flaktar-ska-fa-bort-moglet-pa-lindholmen/>
- Great, T., Dream, A. & Housing, T. A. (2021). We need more flexible housing for 21st-century lives — *ArchitectureAU*. , 20–22. Hämtad från [https://architectureau.com/articles/we-need-more-flexible-housing-for-21st-century-lives/?utm\\_source=ArchitectureAU&utm\\_campaign=090ffabc56-AAU\\_2018\\_09\\_18\\_COPY\\_01&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_e3604e2a4a-090ffabc56-40287761&mc\\_cid=090ffabc56&mc\\_eid=ba36ff34](https://architectureau.com/articles/we-need-more-flexible-housing-for-21st-century-lives/?utm_source=ArchitectureAU&utm_campaign=090ffabc56-AAU_2018_09_18_COPY_01&utm_medium=email&utm_term=0_e3604e2a4a-090ffabc56-40287761&mc_cid=090ffabc56&mc_eid=ba36ff34)
- Gunnebo Fastening. (u. å.). *Vår historia*. Hämtad från <https://www.gunnebofastening.se/om-oss/om-oss/var-historia/>
- Hållbarhetsguiden. (2018). *Cirkulär ekonomi - Sustainability Guide*. Hämtad från <https://hallbarhetsguiden.se/hallbarhet/cirkular-ekonomi/>
- Här anländer nya bostäder till Frihamnen - Göteborg Stadsutveckling. (2020). Hämtad från <https://stadsutveckling.goteborg.se/projekt/frihamnen/nyheter/har-anlander-nya-bostader-till-frihamnen/>
- HECO. (2021). *Vagnsbult - Industriinfästningar - Sortiment - Heco*. Hämtad från <https://www.heco.se/sortiment/industriinfastningar/vagnsbult.html>
- Hellberg, H. (2015). *Intresset för att bygga i trä ökar*. Hämtad från <https://hallbartbyggande.com/intresset-for-att-bygga-i-tra-okar/>
- Historien om timmerhus*. (u. å.). Hämtad från <https://stolpverk.org/vad-ar-stolpverk/>
- IsoTimber stomsystem Teknikhandbok* (forskningsrapport). (u. å.).
- Jansson, T. (2015). *Vad är cirkulär ekonomi?* — Tobias Jansson · *CircularEconomy.se*. Hämtad från <http://circulareconomy.se/vad-ar-cirkular-ekonomi/>
- Jockwer, R., Goto, Y., Scharn, E. & Crona, K. (2020). Design for adaption - Making timber buildings ready for circular use and extended service life. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588(5). doi: 10.1088/1755-1315/588/5/052025
- Lättbygg - slutna element*. (2003). Hämtad från <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/byggsystem/lattbyggnadsteknik/lattbygg-slutna-element/?previousState=10000>
- Lundgren, H. (u. å.). *Trähusets stomme*. Hämtad från <https://www.kulturmiljo-vard.se/byggnadsvard/stomme-och-fasad/trahusets-stomme>
- Lundqvist, T. (2021). *Steg 4. Montering av takstolar*. Hämtad från <https://www.lundqvisttravaru.se/byggsystem/montering/steg-4-montering-av-takstolar/>
- Martinsons. (2020). *Materialguide för Martinsons KL-trä*.
- Metsäwood. (u. å.). *Finnjoist I-beam brings strength and stability to flooring*. Hämtad från <https://www.metsawood.com/global/Products/finnjoist/Pages/Finnjoist.aspx>

- Miliute.Plepiene, J., Almasi, A., Hwargård, L. & IVL Svenska Miljöinstitutet. (2020). *Återanvändning av bygg- och rivningsmaterial och produkter i kommuner* (forskningsrapport). Hämtad från <https://www.avfallsverige.se/kunskapsbanken/rapporter/rapportera/article/ateranvandning-av-bygg-och-rivningsmaterial-och-produkter-i-kommuner/>
- Moderna trähus - så går det till att bygga - Bosumhus.* (u. å.). Hämtad från <https://www.bosumhus.se/att-bygga-ett-bosumhus/>
- Naturskyddsföreningen. (2018). Faktablad : Cirkulär ekonomi Dagens ekonomiska system Vad behöver göras för att ekonomin ska bli cirkulär ? , 1–3.
- Naturskyddsföreningen. (2020). Faktablad : Avfallstrappan Så här ser avfallstrappan ut. , 2–3.
- Naturvårdsverket. (2020a). *Bygg- och rivningsavfall.* Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallat/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Avfall/Vem-gor-vad/Bygg--och-rivningsavfall/>
- Naturvårdsverket. (2020b). *EU:s handlingsplan för cirkulär ekonomi - Naturvårdsverket.* Hämtad från <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallat/EU-och-internationellt/EUs-miljoarbete/Cirkular-ekonomi/>
- Nu flyttar studenterna in i Smedjan - Älvstranden Utveckling.* (2018). Hämtad från <https://alvstranden.com/nu-flyttar-studenterna-in-i-smedjan/>
- PCS Modulsystem. (2021). *Bättre skolor än 90 procent av de permanenta - PCS Modulsystem.* Hämtad från <https://pcsmodulsystem.se/tillfalliga-lokaler/battre-an-90-procent/>
- Phillips, D., Guaralda, M. & Sawang, S. (2016). Innovative housing adoption: Modular housing for the Australian growing family. *Journal of Green Building*, 11(2), 147–170. doi: 10.3992/jgb.11.2.147.1
- Plankstomme - Hålla hus.* (u. å.). Hämtad från <https://hallahus.se/renovera/stommen/trastommar/plankstomme/>
- Riksdagen. (2010). *Plan- och bygglag (2010:900).* Hämtad från [https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900\\_sfs-2010-900](https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/plan--och-bygglag-2010900_sfs-2010-900)
- RISE. (u. å.). *Cirkulär ekonomi - Cirkularitet.se.* Hämtad från <https://cirkularitet.se/cirkular-ekonomi/>
- Rothoblaas. (2017). X-RAD. , 84.
- Rothoblaas. (2019). *BESLAG OCH FÄSTELEMENT FÖR TRÄ - SV by Rothoblaas - issuu.* Hämtad från [https://issuu.com/rothoblaas/docs/beslag\\_och\\_fa\\_stelement\\_for\\_tra\\_sv](https://issuu.com/rothoblaas/docs/beslag_och_fa_stelement_for_tra_sv)
- Rothoblaas. (2021). X-RAD.
- SCB. (2021). *Hushåll i Sverige.* Hämtad från <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/hushall-i-sverige/>

SGS Studentbostäder - Gårda fabriker. (2018). Hämtad från <https://www.sgs.se/v\unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setbox\@tempboxa\hbox{a\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\beginngroup\endgroup\relax\let\ignorespaces\relax\accent23a\egroup\spacefactor\accent@spacefactorra-bost\protect\unhbox\voidb@x\bgroup\U@D1ex{\setbox\z@\hbox{\char127}\dimen@-.45ex\advance\dimen@\ht\z@}\accent127\fontdimen5\font\U@Da\egroupder/v\unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setbox\@tempboxa\hbox{a\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\beginngroup\endgroup\relax\let\ignorespaces\relax\accent23a\egroup\spacefactor\accent@spacefactorra-omr\unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setbox\@tempboxa\hbox{a\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\beginngroup\endgroup\relax\let\ignorespaces\relax\accent23a\egroup\spacefactor\accent@spacefactororden/centrum/g\unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setbox\@tempboxa\hbox{a\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\beginngroup\endgroup\relax\let\ignorespaces\relax\accent23a\egroup\spacefactor\accent@spacefactorrrda-fabriker>

Småhus och flervåningshus - Svenskt Trä. (u. å.). Hämtad från <https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/olika-trakonstruktioner/smahus-och-flervaningshus/>

Spik och spikning - Svenska Byggnadsvårdsföreningen. (2008). Hämtad från <https://byggnadsvard.se/spik-och-spikning/>

Svenskt Trä. (2003). *Lättbygg - platsbygg/öppna element*. Hämtad från <https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/byggsystem/lattbyggnadsteknik/lattbygg-platsbyggoppna-element/>

Svenskt Trä. (2017). *6.3.2 Stomstabilitet - TräGuiden*. Hämtad från <https://www.traguiden.se/konstruktion/kl-trakonstruktioner/vaggar/6.3-stomstabilitet/6.3.2-stomstabilitet/>

Svenskt trä. (2017). *Förbandstyper - Svenskt Trä*. Hämtad från <https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/forbandstyper/>

Svenskt Trä. (2017). *KL-trähandbok: fakta och projektering av KL-träkonstruktioner*.

Svenskt Trä. (2020a). *Bärande väggar - generellt - TräGuiden*. Hämtad från <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/stomme/vaggar/barande-vaggar---generellt/>

Svenskt Trä. (2020b). *No Title*. Hämtad från <https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/byggande/bygga-i-tra/>

Svenskt trä. (2021). *No Title*. Hämtad från <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/stomme/vaggar/yttervaggar/>

Svensson, Y. (2020). *Boverkets föreskrifter om ändring i Boverkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd, BFS 2020:4* (forskningsrapport). Boverket.

Thormark, C. (2008). *Projektera för demontering & återvinning*. Stockholm: Svensk byggtjänst.

- Timmerhus. (u. å.). *Det viktigaste om konstruktionen av ett timmerhus*. Hämtad från <https://www.timmerhusbygg.se/aktuellt/det-viktigaste-om-konstruktionen-av-ett-timmerhus/>
- TMF. (2020). Trähus barometern. (September), 1–5.
- Tomoku Hus AB. (2020). Hämtad från <https://www.tomokuhus.se/index.cfm/vaeggblock/information-tomoku-hus-vaeggblock/>
- Trähus. (2020). *Svensk trähus historia*. Hämtad från <http://www.traehus.se/svensk-trahus-historia/>
- Vad är stolpverk. (u. å.). Hämtad från <https://stolpverk.org/vad-ar-stolpverk/>
- Wood framing system developed by SI-Modular. (u. å.). Hämtad från <https://www.metsawood.com/global/news-media/references/Pages/SI-modular-wood-construction-system.aspx>
- X-FIX. (2020). *X-fix Brettsperrholz BSP Verbinder / CLT Connectors*. Hämtad från <http://www.x-fix.at/>
- X-FIX. (2021a). *Benefits of X-fix System — X-fix Brettsperrholz BSP Verbinder / CLT Connectors*. Hämtad från <http://www.x-fix.at/benefits/>
- X-FIX. (2021b). *X-fix C type — X-fix Brettsperrholz BSP Verbinder / CLT Connectors*. Hämtad från <http://www.x-fix.at/x-fix-c-type/>
- X-FIX. (2021c). *X-fix L type — X-fix Brettsperrholz BSP Verbinder / CLT Connectors*. Hämtad från <http://www.x-fix.at/x-fix-l-type/>

INSTITUTIONEN FÖR ARKITETKUR OCH  
SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, Sverige 2021  
[www.chalmers.se](http://www.chalmers.se)



**CHALMERS**