



Lyftredskap för KL-trä

Hantering av horisontella och vertikala element i massivträ

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

JONAS VAN RIEMSDIJK

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2014
Examensarbete 2014:23

EXAMENSARBETE 2014:23

Lyftredskap för KL-trä

Hantering av horisontella och vertikala element i massivträ

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

JONAS VAN RIEMSDIJK

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2014

Lyftredskap för KL-trä
Hantering av horisontella och vertikala element i massivträ
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

JONAS VAN RIEMSDIJK

© JONAS VAN RIEMSDIJK 2014

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2014:23

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Illustration av slutgiltigt förslag till lyftredskap.

Chalmers reproservice
Göteborg 2014

Lyftredskap för KL-trä

Hantering av horisontella och vertikala element i massivträ

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

JONAS VAN RIEMSDIJK

Institutionen för bygg- och miljöteknik

Avdelningen för konstruktionsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Användandet av massivträ vid byggandet av nya moderna hus är relativt nytt. På grund av detta finns det i dagsläget knappt några färdigutvecklade system för hantering av byggelement av massivt trä. Med bakgrund av detta ville Martinsons Byggsystem AB få hjälp med att ta fram ett standardiserat system för lyft och hantering av deras element i så kallat KL-trä, vilket är en typ av korslaminerat limmat trä.

Arbetet inleddes med en studie av gällande krav och normer för att få kunskap om vad som gäller vid lyft och hantering av gods. Här framkom bland annat att alla lyftredskap som används måste vara CE-godkända samt att personalen som använder lyftredskapet skall ha god kunskap om hur redskapet fungerar och skall användas. Företagets egna krav på lyftredskapet var främst att det skulle vara mångsidigt och effektivt så att det gick att använda till flera typer av element och utan onödigt för- och efterarbete.

Efter att ett antal krav var fastställda gjordes ett första urval där sex olika metoder presenterades. Detta urval gjordes från befintliga lösningar som ansågs gå att applicera på KL-träelementen och visade på de olika förslagens för- och nackdelar. De sex förslagen viktades därefter mot varandra utifrån fem olika kriterier och utifrån denna viktning valdes tre förslag ut som analyserades mer ingående utifrån kostnads- och hållfasthetsberäkningar i ett andra urval. Dessa var, en lyftskruv med kulankare, en skruvad lyftplatta och att lyfta med bandstropp.

Vid det andra urvalet visade det sig finnas många aspekter kring KL-träet som var svåra att ta hänsyn till vid beräkningarna. Bland annat bestod elementen inte genomgående av samma virkeskvalitet samt att det inte fanns något krav på att lamellerna i elementen låg helt kloss an varandra utan det kunde finnas hålrum inuti elementen som inte gick att se från utsidan. Båda dessa faktorer medförde osäkerheter i beräkningarna, densiteten valdes i samråd med företaget till det högsta av de två värdena medan problemet med hålrum kontrollerades genom beräkningar utifrån de verkliga lasterna som verkade på lyftredskapet utan några säkerhetsfaktorer. Dessa beräkningar visade att en stor del av skruvkapaciteten skulle kunna förloras utan att äventyra säkerheten under lyftet.

Slutligen valdes lyftplattan som det bästa alternativet och ett underlag för vad en handbok till lyftredskapet bör innehålla togs fram för att underlätta vid kommande användning.

Nyckelord: KL-trä, lyftredskap, lyftplatta, lyftskruv, massivträ

Lifting equipment for CLT-elements
Handling of horizontal and vertical elements in massive timber
Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering

JONAS VAN RIEMSDIJK
Department of Civil and Environmental Engineering
Division of Structural Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

The use of massive timber in modern buildings is relatively new. Because of this, there is currently few developed systems for handling building elements in this material. This was the main reason why Martinsons Byggsystem AB wanted help to develop a standardized system for lifting and handling of their elements in so called CLT, which is a type of cross-laminated glulam.

The work began with a study of current standards and requirements to gain knowledge about what applies to lifting and handling of goods. During this study it was found among other things that lifting equipment has to be CE-approved and that the staff who use the equipment got to have good knowledge about how the equipment works and how it should be used. The company's own requirements to the lifting equipment mainly was that it should be versatile and efficient so that it could be used for several types of elements

When a number of requirements was identified, a first selection was made in which six different methods was presented. This selection was made out of existing solutions from various industries that could be possible to apply to the CLT elements and showed the Pros and Cons for the different solutions. The six proposals were compared to each other based on five criteria and on the basis of this comparison three methods were chosen to undergo a more detailed analysis with cost and strength calculations in a second selection. These methods were, a self-tapping screw with a lifting ring, a screwed lifting plate and lifting with ribbon straps.

In the second selection, it turned out to be many aspects of the CLT that was hard to take into account in the calculations. For example the elements did not consist of the same wood quality throughout the whole element and there were a risk of holes within the elements that could not be seen from the outside. Both these factors led to uncertainties in the calculations. The quality was in consultation with the company chosen to the higher of the two values while the problem with cavities was checked by calculations based on the actual loads from the element without any safety factors. These calculation showed that a large amount of the screw capacity could be lost without compromising the safety during lifting.

Finally the screwed lifting plate was elected as the best alternative and some suggestion of what a handbook for the lifting equipment should contain were developed to facilitate future use.

Key words: CLT, lifting equipment, lifting plate, lifting screw

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Metod	1
1.4 Avgränsningar	1
2 FÖRSTUDIE	2
2.1 Arbetsmiljöverkets föreskrifter	2
2.1.1 Märkning och användarinformation	3
2.2 Standarder	3
2.3 Interna krav	5
2.4 Erfarenheter från tidigare projekt	5
3 FÖRSTA URVALET	6
3.1 Lyftsax för vertikala element	6
3.2 Betonglyftsax för horisontella element	6
3.3 Lyftskruv med kulankare	7
3.4 Skruvad lyftplatta	8
3.5 Textilsling med ståltapp	8
3.6 Bandstropp	9
3.7 Viktning av kravspecifikation	9
4 BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	11
4.1 Egentyngd element	11
4.2 Kraftkomposanter	12
4.3 Kant och ändavstånd för skruv	12
4.3.1 Tvärbelastad skruv	12
4.3.2 Axiellt belastad skruv	14
4.4 Brottmoder	15

5	ANDRA URVALET	17
5.1	Lyftskruv med kulankare	17
5.1.1	Hållfasthetsberäkning	18
5.1.2	Kostnadsberäkning	24
5.2	Skruvad lyftplatta	25
5.2.1	Hållfasthetsberäkning	25
5.2.2	Kostnadsberäkning	31
5.3	Bandstropp	31
5.3.1	Hållfasthetsberäkning	32
5.3.2	Kostnadsberäkning	33
5.4	Val av lösning	33
5.4.1	Kontroll av bärförmåga vid användning	34
6	SLUTGILTIG LÖSNING	38
6.1	Handbok	38
7	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	41
7.1	Metod	41
7.2	Valet av redskap	41
7.3	Beräkningar	41
7.4	Påverkan på kommande projekt	43
8	REFERENSER	44

Förord

Detta examensarbete är en del av byggingenjörsprogrammet vid Chalmers tekniska högskola och innefattar 15hp. Arbetet har genomförts på Martinsons Byggsystem i samarbete med institutionen för bygg- och miljöteknik, avdelning konstruktionsteknik, på Chalmers.

Jag vill tacka alla personer jag varit i kontakt med under arbetets gång och som gjort detta möjligt. Ett särskilt tack vill jag rikta till min handledare på Martinsons, Johan Königsson, som hela tiden hjälpt till med goda råd och nya infallsvinklar till projektet. Jag vill också tacka min handledare och examinator på Chalmers, Professor Robert Kliger, som kommit med många bra idéer och tips om hur arbetet och rapporten kunde läggas upp.

Göteborg juni 2014

Jonas van Riemsdijk

Beteckningar

Latinska versaler

$B_{p,Rd}$	Dimensionerande bärförmåga för genomstansning
$F_{ax,Ed}$	Dimensionerande axialkraft på en förbindare
$F_{ax,k,Rk}$	Karakteristisk utdragsbärförmåga
$F_{ax,Rd}$	Dimensionerande utdragsbärförmåga
$F_{b,Rd}$	Dimensionerande bärförmåga för hålkantbrott
F_{Ed}	Dimensionerande kraft
$F_{t,Rd}$	Dimensionerande dragbärförmåga hos ett förband
$F_{t,Rk}$	Karakteristisk dragbärförmåga hos ett förband
$F_{v,Ed}$	Dimensionerande skjuvkraft per skjuvningsplan för en förbindare
$F_{v,Rd}$	Dimensionerande skjuvbärförmåga per skjuvplan för en förbindare
$F_{v,ef,Rd}$	Effektiv karakteristisk bärförmåga hos en rad förbindare
$F_{v,Rk}$	Karakteristisk skjuvbärförmåga per skjuvplan för en förbindare
G	Egentyngd
G_d	Dimensionerande värde för egentyngden
$M_{y,Rk}$	Karakteristiskt flytmoment för en förbindare

Latinska gemena

a_1	Avstånd, parallellt fiberriktningen, mellan förbindare inom en rad
$a_{1,CG}$	Ändavståndet från tyngdpunkten av den gängade delen av skruven i virkesdelen
a_2	Avstånd, vinkelrätt fiberriktningen, mellan rader av förbindare
$a_{2,CG}$	Kantavstånd från tyngdpunkten av den gängade delen av skruven i virkesdelen
$a_{3,c}$	Avstånd mellan förbindare och obelastad ände
$a_{3,t}$	Avstånd mellan förbindare och belastad ände
$a_{4,c}$	Avstånd mellan förbindare och obelastad kant
$a_{4,t}$	Avstånd mellan förbindare och belastad kant
a_b	Beräkningsparameter
$a_{d,1}$	Beräkningsparameter
$a_{d,2}$	Beräkningsparameter
b	Bredd
d_g	Gängans ytterdiameter

d_h	Skruvhalsens diameter
d_m	Skruvhuvudets medeldiameter
e_1	Avstånd från skruvcentrum till ände på plåt
e_2	Avstånd från skruvcentrum till kant på plåt
$f_{ax,k}$	Karakteristisk utdragshållfasthet
$f_{h,k}$	Karakteristisk bäddhållfasthet
$f_{h,0,k}$	Karakteristisk bäddhållfasthet parallellt fiberriktningen
$f_{h,\alpha,k}$	Karakteristisk bäddhållfasthet vid vinkel α mot fiberriktningen
$f_{tens,k}$	Träskruvens karakteristiska dragbärförmåga
f_u	Brotthållfasthet stål
f_{ub}	Draghållfasthet skruv
g	Tyngdaccelerationen
h	Höjd
k_1	Beräkningsparameter
k_d	Materialparameter
k_{mod}	Lastvaraktighets- och fuktfaktor
k_{90}	Materialparameter
l	Längd; Skruvländ
l_{ef}	Effektiv skruvlängd; Gängans längd
n	Antal förbindare
n_{ef}	Effektivt antal förbindare
p_1	Centrumavstånd mellan fästelement vid beräkning av hålkantbrott
t	Tjocklek på lyftplatta
t_1	Längd på förbindare i virkesdel
v_h	Lyfthastighet

Grekiska gemena

α	Vinkeln mellan kraft och fiberriktning; Vinkeln mellan lastens angrepp och den belastade kanten (eller änden); Vinkeln mellan lodlinje och lyftstropp
β_2	Dynamikfaktor
$\gamma_{G,j}$	Partialkoefficient för den permanenta lasten j
γ_M	Partialkoefficient för materialegenskaper, tar också hänsyn till osäkerheter i beräkningsmodell och måttavvikelser
γ_{M2}	Partialkoefficient för stål

$\gamma_{Q,1}$	Partialkoefficient för den variabla lasten
γ_{Sd}	Partialkoefficient som beaktar osäkerheter hos lastmodellen och/eller lasteffektmodellen
ρ_m	Medeldensitet
ρ_k	Karakteristisk densitet
φ_2	Dynamikfaktor vertikal last
$\varphi_{2,min}$	Dynamikfaktor vertikal last

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Martinsons Byggsystem är ett företag som specialiserat sig på produktion och byggande med limträ. Man har utvecklat en metod för byggande av höghus i så kallat KL-trä. KL-trä är en skiva i massivt trä som tillverkas genom att lameller av hyvlat granvirke limmas ihop. För att öka formstabiliteten i skivorna är vartannat lager vinkelrätt tvärställt och på detta sätt blir skivorna stabila i flera riktningar. Martinsons Byggsystem levererar i dagsläget både pelare bjälklagsstommar med relativt låg prefabriceringsgrad men också hela KL-trästommar där så mycket installationer och ytskikt som möjligt görs färdigt på fabriken innan elementen transporteras vidare med lastbil till byggarbetsplatsen för montering. Man har tidigare använt sig av flera olika metoder för att hantera/lyfta dessa element och ville nu ha en standardiserad lösning som inte riskerar att förstöra några redan färdiga ytskikt. För att underlätta projekteringsskedet ville man sedan framställa tabeller och beskrivningar för hur den slutliga lösningen skulle användas för att underlätta för projektörerna att bestämma placering och antal lyftpunkter.

1.2 Syfte

Syftet med projektet var att utifrån befintliga krav och normer samt företagets egna önskemål ta fram tre olika förslag till lyftredskap för att utifrån det försöka komma överens om en standardlösning för hantering av vertikala och horisontella element i massivträ genom hela produktions- och byggskedet. De tre förslagen utvärderades där efter utifrån statiska hållfasthetsberäkningar samt kostnadsberäkningar.

1.3 Metod

Projektet startades med en studie av vilka krav och normer som myndigheter och olika branschorganisationer ställt upp för denna typ av lyft och lyftredskap. Därefter utvärderades företagets egna krav och önskemål igenom utifrån hur produktionen och byggandet fungerar i verkligheten.

Efter att ett antal krav var utredda fortsatte arbetet med att hitta metoder som skulle kunna användas, detta gjordes genom att bland annat studera hur betong- och stålindustrin hanterar lyftproblemet. Av sex ursprungliga förslag valdes sedan tre lämpliga alternativ ut för att genomgå en närmare studie där hållfasthet och kostnad undersöktes för de olika förslagen för att på så sätt hitta den mest effektiva metoden.

Efter det sista urvalet sammanställdes ett underlag på innehåll i en handbok med tabeller och beskrivningar för hur lyftredskapet skulle användas.

1.4 Avgränsningar

Uppgifterna i denna rapport är vad det gäller storlekar på element samt hållfasthetsvärden för KL-träskivorna baserade på uppgifter från Martinsons Byggsystem och kan ej direkt överföras till produkter från andra tillverkare. Vid beräkningar av skruvar och deras kapacitet gäller dessa endast utifrån av tillverkaren angivna hållfasthetsvärden för skrutypen SFS WFD från SFS Intec.

2 Förstudie

Syftet med förstudien var att sammanfatta vilka föreskrifter, regler och dokumenterade erfarenheter som fanns för denna typ av lyft och lyftredskap. Krav och normer som ställts av svenska myndigheter och branschorganisationer studerades, och även företagets egna krav och önskemål för hur de planerade att lyftredskapet skulle användas beaktades.

2.1 Arbetsmiljöverkets föreskrifter

Arbetsmiljöverket har tagit fram en samling föreskrifter att tillämpa vid användning av lyftanordningar och lyftredskap (Arbetsmiljöverket 2006). Dessa föreskrifter beskriver inte hur lyftredskap skall utformas utan riktar sig åt hur man vid användning av sådana redskap skall tillgodose en säker arbetsmiljö för alla som vistas på arbetsplatsen. Många av dessa föreskrifter har tillkommit till följd av Sveriges medlemskap i Europeiska unionen (EU) där ett ramdirektiv ger de grundläggande förutsättningarna för säkerhet på arbetsplatsen. Utformningen av lyftanordningar och lyftredskap, samt hur dessa skall hållfasthetsberäknas regleras i svenska standarder (Arbetsmiljöverket 2006). Arbetsmiljöverket definitioner på lyftanordning och lyftredskap visas i Tabell 2.1.

Tabell 2.1 Definitioner. (Arbetsmiljöverket 2006)

Lyftanordning	Anordning för att lyfta eller sänka last.
Lyftredskap	Komponenter eller utrustning som inte är monterade på lyftanordningen och som är placerade antingen mellan lyftanordningen och lasten eller på lasten för att ansluta den.

Vid användning av lyftanordningar och lyftredskap ställs krav på att arbetet skall vara väl planerat och organiserat så att risken för farliga situationer minskas (Arbetsmiljöverket 2006). Arbeta under upplyft last får endast ske om lyftanordningen och lyftredskapet är konstruerat för arbete under upplyft last. Last får ej heller transporteras över oskyddade arbetsplatser där personer vistas. (Arbetsmiljöverket 2006). Vid val av lyftredskap måste hänsyn tas till vilken typ av last som skall hanteras samt vilka lämpliga fästpunkter som bör användas för den tänkta lasten. Det är också viktigt att se till att lasten är väl säkrad så att oönskade rörelser inte uppstår under lyftet, vilket kan leda till att exempelvis lasten välter (Arbetsmiljöverket 2006).

Det är viktigt att de som använder lyftanordningen eller lyftredskapet har god kunskap om utrustningen och hur den skall användas för att arbetet skall kunna utföras på ett säkert sätt (Arbetsmiljöverket 2006).

2.1.1 Märkning och användarinformation

Lyftredskap omfattas av Arbetsmiljöverkets föreskrifter för maskiner AFS 2008:3 och måste därför vara tydligt och varaktigt märkta enligt Tabell 2.2.

Tabell 2.2 Märkning av lyftredskap. (Arbetsmiljöverket 2008)

Tillverkaren företagsnamn och fullständiga adress
Lyftredskapets beteckning
CE-märkning
Serie- eller typbeteckning
Eventuellt serienummer
Tillverkningsår
Uppgifter om maximal last

Det är viktigt att säkerställa hållfastheten och stabiliteten för utrustningen därför ställer Arbetsmiljöverket krav på en säkerhetsfaktor mellan maximal kapacitet och maximal belastning vid statisk provning som skall vara 1,5 (Arbetsmiljöverket 2008).

Definitionen av statisk provning enligt Arbetsmiljöverket är: ”prov vid vilken en lyftande maskin eller ett lyftredskap först kontrolleras och utsätts för en kraft motsvarande den högsta (maxlasten) multiplicerat med lämplig testfaktor för statisk provning och sedan kontrolleras på nytt, efter det att lasten i fråga har avlägsnats i syfte att konstatera att ingen skada har uppstått” (Arbetsmiljöverket 2008).

Till alla typer av lyftredskap skall det medfölja en bruksanvisning, vad denna som minst måste innehålla visas i Tabell 2.3.

Tabell 2.3 Minsta innehållsmängd i bruksanvisning för lyftredskap. (Arbetsmiljöverket 2008)

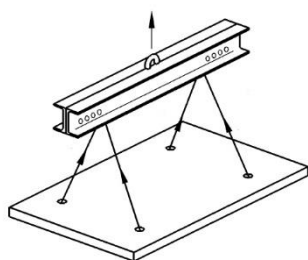
Den avsedda användningen
Användningsbegränsningar
Bruksanvisningar för montering, användning och underhåll
Det värde på testfaktorn för statisk provning som använts

2.2 Standarder

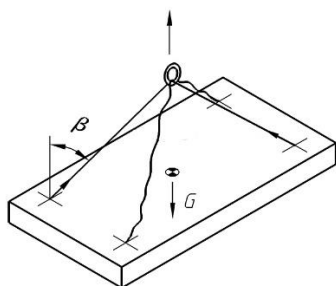
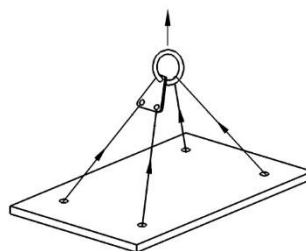
Tekniken att bygga hus i korslimmat massivträ är relativt ny vilket gör att utbudet på standarder och normer inom området är begränsat (Gagnon, Francis & Stockton 2013, s.1). En byggmetod som är liknande den med KL-element är att bygga med prefabricerade betongelement. Denna metod är äldre och mer använd vilket gör att

utvecklingen där har kommit längre (Gagnon, Francis & Stockton 2013, s.1). Detta gör att det för betongindustrin har tagits fram standarder som reglerar bland annat lyftredskap för prefabricerade betongelement. Eftersom det finns stora likheter mellan dessa två metoder kan man överföra många av tankesätten i standarderna från betongindustrin till träindustrin och modifiera metoderna så att de passar (Gagnon, Francis & Stockton 2013, s.1).

För att lyft skall kunna dimensioneras och utföras på ett säkert sätt skall lyftredskapet vara utformad så att alla laster blir statiskt bestämda (SIS 2012). Detta för att säkerställa att alla lyftpunkter bidrar till att bära upp sin del av lasten. I Figur 2.1 visas exempel på statiskt bestämda system för lyft av bjälklagelement där alla fyra lyftpunkter är jämt belastade och i Figur 2.2 visas ett obestämt system där endast två lyftpunkter är belastade.

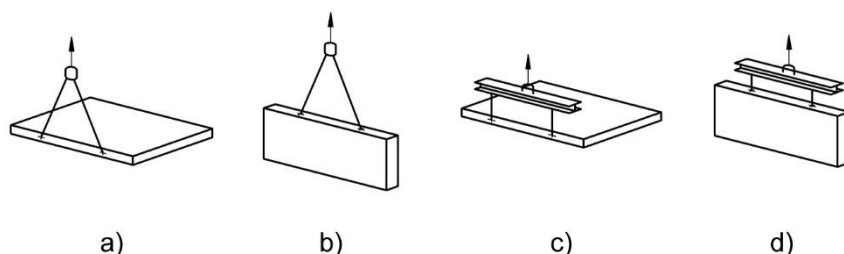


Figur 2.1 Statiskt bestämda system för hantering av bjälklagelement. (SIS 2012)



Figur 2.2 Statiskt obestämt system för hantering av bjälklagelement. (SIS 2012)

Vid dimensionering av lyftinfästningar för väggelement måste hänsyn tas till hur elementen transporteras och förvaras samt vilken typ av lyftredskap som skall användas då detta kan ge upphov till laster som verkar i andra riktningar än vid det rena vertikala lyftet (SIS 2012). I Figur 2.3 visas exempel på hur ett väggelement belastas olika i liggande respektive stående läge.



Figur 2.3 Belastningsriktning på väggelement vid liggande och stående lyft. (SIS 2012)

För att få rätt förutsättningar vid dimensionering av lyftpunkter i de massiva träelementen måste man förutom de allmänna principerna för lyft som tas upp i

standarden SS-CEN/TR 15728:2012 "Förtillverkade betongprodukter-Förankring för lyft och hantering" även ta hänsyn till reglerna i Eurokod 1 "Laster på bärverk - Del 1-6: Allmänna laster - Last under byggskedet" (SIS 2005) och Eurokod 5 "Dimensionering av träkonstruktioner Del 1-1: Allmänt - Gemensamma regler och regler för byggnader" (SIS 2004).

2.3 Interna krav

Vid ett möte med initiativtagaren till projektet, Daniel Wiklund¹, arbetades ett par punkter fram som från företagets sida ansågs vara det viktigaste för kraven på hur lyftredskapet som skulle tas fram skulle fungera.

- Försöka hitta en redan befintlig lösning eller låta ett utomstående företag ta fram och tillverka lyftredskapet så att Martinsons inte själva behöver stå för CE-märkningen av produkten.
- Lyftredskapet skall gå att använda till alla hos Martinsons förekommande element oavsett storlek, samt både till horisontella och vertikala element.
- Minst en sida av elementet skall kunna vara synligt efter montering, lyftredskapet får därför bara lämna märken på en sida.
- Då alla element transporteras liggande på lastbil till byggplatsen måste det med lyftredskapet gå att resa väggelementen upp från lastbilen vid leverans.
- Eftersom att lossningen av elementen alltid utförs av köparen vill man utforma en form av "lyftpaket" som kan skickas med vid varje leverans. På så sätt ansvarar montörerna själva för att lyftredskapet är monterat på rätt sätt utifrån instruktionerna som medföljer lyftredskapet. Detta medför också en effektivisering av hela produktionskedjan då det på byggplatsen finns stillestånd under lyften för personen som kopplar elementen till kranen.

2.4 Erfarenheter från tidigare projekt

Under byggandet av bostadsområdet Limnologen i Växjö 2007 gjordes det en studie kring montaget av en husstomme i massivträ som levererats av Martinsons Byggsystem (Gustafsson, Vessby & Rask 2008). Där fann man ett antal punkter som skulle behöva förbättras vid hanteringen av byggelementen. Vid detta projekt använde man sig av ett väderskydd med inbyggd traverskran för att montera elementen och på grund av att höjden mellan bjälklag och traversbanan ibland var för låg blev lyftvinkeln på lyftstropparna för liten vilket resulterade i onödigt stora och felriktade laster i lyftpunkterna (Jarnerö et al. 2008). Det upptäcktes också att vissa väggelement hängde snett vid lyft vilket gjorde monteringsarbetet svårare (Jarnerö et al. 2008). Montörerna hade ibland också svårt att koppla väggelementen till lyftkroken när de stod i sina ställage (Gustafsson, Vessby & Rask 2008), detta är dock inget problem längre enligt Daniel Wiklund¹ eftersom att alla element numer levereras liggande på lastbilen oavsett om de skall monteras vertikalt eller horisontellt. Det fanns också en önskan på byggarbetsplatsen att det skulle finnas mer utarbetade instruktioner om hur hantering och montage skulle utföras (Jarnerö et al. 2008).

¹ Daniel Wiklund (Säljare, Martinsons Byggsystem) möte med författaren den 19 mars 2014.

3 Första urvalet

Syftet med det första urvalet var att genom studier av befintliga lyftredskap, som redan används inom olika branscher, välja ut ett antal förslag som skulle gå att använda vid lyft av KL-träskivorna för att sedan kunna välja ut tre av dessa förslag för en mer ingående analys.

Vid detta första urval gjordes inga ingående analyser angående bärförmågan utan studien fokuserade på att hitta positiva och negativa egenskaper hos de olika redskapen så att arbetet med att hitta de tre mest intressanta skulle bli smidigare. För att kunna jämföra de olika metoderna gjordes en viktning mellan de olika alternativen utifrån en kravspecifikation.

3.1 Lyftsax för vertikala element

Lyft med denna typ av lyftredskap bygger på friktion mellan anordningen och lasten. I Figur 3.1 visas ett exempel på lyftsax för hantering av fyrkantsprofiler.



Figur 3.1 Lyftsax för vertikala element. (Nordgreif 2013)

För att lyftklämmor skall få användas på en byggarbetsplats krävs en extra säkerhetsanordning i form av en vajer eller liknande som dras under lasten för att förhindra att lasten frigörs ofrivilligt, säkerhetsvajern får plockas bort precis innan elementet ställs på plats (SIS 2009).

Fördelen med denna metod är att den inte ger några märken på elementen, såvida ytorna som saxen greppar mot är plana och hårda, det behövs alltså inte fästas några extra lastfördelande plattor eller liknande på elementen vid lyft av rent KL-trä. Nackdelarna är att det krävs en extra säkerhetslina under lasten för lyft högre än 1,8m (SIS 2009). Ytterligare en nackdel är att saxen kräver belastning för att fästa mot elementet, detta kan göra det svårt att manövrera elementen till rätt position vid montering. Lyftsaxen går också bara att använda till vertikala element vilket gör detta alternativ mindre mångsidigt.

3.2 Betonglyftsax för horisontella element

Vid lyft och hantering av håldäcksplattor i betong används ibland speciella lyftsaxar som greppar tag i spår på varje långsida av elementet, se Figur 3.2.

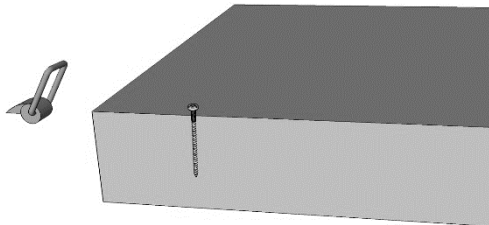


Figur 3.2 Lyftsax för håldäcksplattor. (Certex 2014)

Denna metod kräver liksom föregående att säkerhetslinor fästs under elementet vid lyft över 1,8m (SIS 2009). Ingen information om att denna metod har prövats på element av massivträ tidigare har hittats. Fördelen med detta system är att lyftsaxarna redan är utvecklade och det är en välbeprövad metod för hantering av prefabricerade element. Det som talar emot är att stora urfräsningar behöver göras i sidorna på elementen för att saxen skall fästa på ett bra sätt och så att elementen skall kunna monteras kloss an varandra direkt utan någon justering i efterhand. Dessa spår bör sedan tätas på något sätt för att erhålla önskad lufttätethet och för att förhindra spridningen av rök och eld samt för att minska risken för oönskad ljudtransmission (Gagnon, Francis & Stockton 2013, s.25). Även denna metod har nackdelen att den inte är universell eftersom den endast kan lyfta horisontella skivor.

3.3 Lyftskruv med kulankare

Detta är det system som används mest i Europa för hantering av element i massivträ och är en vidareutveckling av ett system som används av betongindustrin (Gagnon, Francis & Stockton 2013, s.20). I Figur 3.3 visas systemets delar. Det består av en lyftskruv som fästs i elementet till vilken man sedan kan fästa kulankaret.



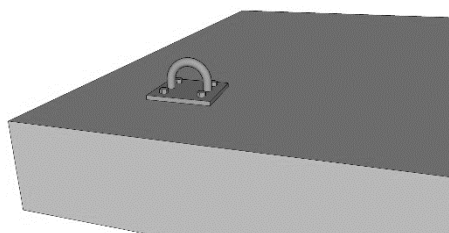
Figur 3.3 Lyftskruv med kulankare.

Systemet är enkelt för montörerna att använda men det finns också vissa risker med det. Vid besök i Martinsons fabrik visade det sig att det inte finns krav på att lamellerna i elementen måste ligga helt tätt utan det kan finnas hålrum inuti elementen. Detta gör att det finns en risk att skruvens gänga hamnar i ett sådant hålrum vilket kan medföra att skruven har för dålig utdragshållfasthet vilket kan få stora konsekvenser eftersom varje lyftpunkt endast hålls uppe av en skruv. Skruvarna som används bör på grund av slitage endast användas en gång (Gagnon, Francis & Stockton 2013, s.20), så är dock inte alltid fallet enligt Daniel Wiklund² som varit ute på flertalet byggplatser. Beroende på hur redskapet monteras kan det behöva göras nedfräsningar i elementen (Rothoblaas 2011) som sedan bör tätas efter montage (Gagnon, Francis & Stockton 2013, s.25).

² Daniel Wiklund (Säljare, Martinsons Byggsystem) möte med författaren den 19 mars 2014.

3.4 Skruvad lyftplatta

Detta lyftredskap kan vara utformat på flertalet olika sätt, i Figur 3.4 visas en modell som tidigare använts av Martinsons vid olika projekt.

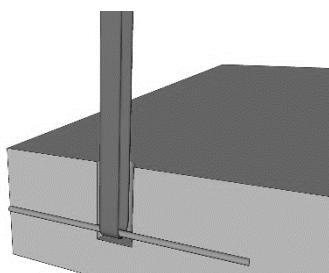


Figur 3.4 Skruvad lyftplatta.

Om lyftplattan utformas på ett bra sätt är detta en flexibel lösning då det ändå som behöver göras för att öka lyftkapaciteten är, såvida redskapet i sig har tillräcklig hållfasthet, att öka antalet skruvar som fäster lyftplattan mot elementet (Gagnon, Francis & Stockton 2013, s.22). För att inte vara i vägen under transporten från fabriken och för att slippa ha ett stort lager av dessa lyftplattor bör de monteras på byggplatsen. Detta gör att monteringsstiden flyttas från fabriken till byggplatsen, men enligt Daniel Wiklund³ gör detta det sammanlagda arbetet i projektet mer effektivt då den person som kopplar elementen till kranen på byggplatsen ändå är stillastående under lyftet. Genom att denna person istället för att vara stillastående monterar lyftplattorna effektiviseras produktionen.

3.5 Textilsling med ståltapp

I Figur 3.5 visas ett system där lyftet sker med hjälp av korta textilsling och ståltappar.



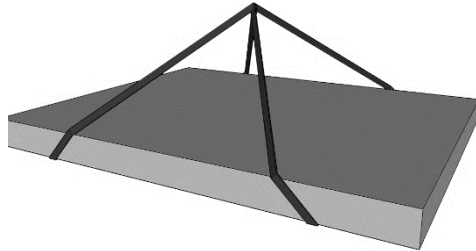
Figur 3.5 Textilsling med ståltapp.

Denna metod går ut på att det i fabriken borrar två hål i elementet, ett större ovanifrån där textilslingen sedan stoppas ned och ett mindre från sidan där man slår in en ståltapp som håller kvar slingan i hålet och utgör bärningen av elementet (Gagnon, Francis & Stockton 2013, s.25). Under transporten får hela slingan plats i sitt hål och är därmed ur vägen, när elementet sedan skall lyftas på plats är det bara att dra ut slingan och fästa elementet till kranen vilket gör detta system väldigt enkelt och säkert för de som jobbar på byggarbetsplatsen (Gagnon, Francis & Stockton 2013, s.25), metoden kräver dock en hög grad av förberedelser på fabriken.

³ Daniel Wiklund (Säljare, Martinsons Byggsystem) möte med författaren den 19 mars 2014.

3.6 Bandstropp

Användning av bandstropp vid lyft av gods regleras i Svensk Standard (SIS 2008) samt Arbetsmiljöverkets föreskrifter om användning av lyftanordningar och lyftredskap. I Figur 3.6 visas ett sätt att använda sig av bandstroppar vid lyft av element i KL-trä.



Figur 3.6 Lyft med bandstroppar.

Vid lyft med stroppar i syntetfiber är det viktigt att skydda stroppen från vassa kanter så att inga skador uppstår på stroppen (Prevent 2010). Hänsyn måste också tas till risken för att lasten kan röra sig oavsiktligt (Arbetsmiljöverket 2006). Om ett band skulle glida åt något håll under lyftet förflyttas den gemensamma lyftpunkten så att den inte sammanfaller med lastens tyngdpunkt vilket kan leda till att lasten tippar (Gagnon, Francis & Stockton 2013, s.19). Detta kan leda till stora skador på både material och personer.

Vid användning av lyftstroppar är det viktigt att vara noggrann med vilka laster som skall belasta stroppen och att följa de av tillverkarna angivna maxlasterna (Prevent 2010). Lyft med bandstroppar kräver inga förberedelser på fabriken och tar kort tid att använda på byggplatsen vilket gör denna metod effektiv. En nackdel med metoden är att det ofta inte går att placera elementen i rätt position direkt med kranen utan justering i efterhand måste ske, detta för att det skall vara möjligt att ta bort stropparna.

3.7 Viktning av kravspecifikation

För att komma fram till vilka tre förslag som skulle tas med i den mer ingående analysen gjordes en viktning av fem olika krav som ställdes på de olika lyftredskapen. I Tabell 3.1 beskrivs definitionen av de olika kraven.

Tabell 3.1 Definitioner av frågor som beskriver kravspecifikationen.

Användarvänlighet	Är redskapet enkelt att använda för montörerna på byggplatsen?
Användbarhet	Går redskapet att använda till flera olika typer av element?
Fabriksarbete	Behövs det mycket eller lite förarbete som måste göras i fabriken för att redskapet skall kunna användas? (Lite fabriksarbete är att föredra)
Efterarbete	Behövs det göras några kompletteringar av elementen efter montaget? Exempelvis lagningar eller inpassning? (Lite efterarbete är att föredra)
Befintlig lösning	Finns det en färdigutvecklad produkt på marknaden som kan användas till ändamålet?

De förslag som var med i jämförelsen var:

1. Lyftsax för vertikala element.
2. Betonglyftsax för horisontella element.
3. Lyftskruv med kulankare.
4. Skruvad lyftplatta.
5. Textilsling med ståltapp.
6. Bandstropp.

I Tabell 3.2 visas resultatet av viktningen där ett plus betyder att det är en önskad egenskap, minus att det är en oönskad egenskap och en nolla betyder att det kan vara både positivt och negativt beroende på hur redskapet används.

Tabell 3.2 Viktning av kravspecifikation.

Kravspecifikation	Förslag					
	1	2	3	4	5	6
Användarvänlighet	0	+	+	+	+	0
Användbarhet	-	-	+	+	+	0
Fabriksarbete	+	-	+	+	-	+
Efterarbete	+	-	+	+	-	+
Befintlig lösning	+	+	+	0	0	+
Summa	3	2	5	4	2	3

Utifrån denna viktning valdes sedan att gå vidare med en mer ingående analys av förslag tre, fyra och sex. Som visas i Tabell 3.2 fick metod ett samma värde som metod sex, denna metod valdes dock bort på grund av att den endast går att använda för vertikala element.

4 Beräkningsförutsättningar

För att kunna jämföra de olika lyftredskapen utgick beräkningarna från det största element som Martinsons kunde producera. Detta element är 12m långt, 1,2m brett och 0,259m högt. Nedan visas beräkningen av elementets egentynghd, skruvarnas inbördes avstånd samt kantavstånd och de olika brottmoder som berörs utifrån svensk standard. Här visas också beräkningen av kraftkomposanterna för lyftet.

4.1 Egentynghd element

Vid beräkning av egentynghden måste hänsyn tas till egenvikten som vertikal last samt egenviktens bidrag till de dynamiska effekter som uppstår vid lyft. Beräkningarna baseras på Svensk Standard SS-EN 1990 och SS-EN 1991-3:2006. Medeldensiteten på Martinsons element har vid tidigare mätningar som företaget gjort visat sig ligga mellan 450 och 520kg/m³ vid leverans till skillnad från den karakteristiska densiteten som de använt vid hållfasthetsberäkningar på 350kg/m³. Slutligen valdes att använda 520kg/m³ vid beräkning av egentynghden.

Den dimensionerande egentynghden beräknas enligt ekvation 4.1.

$$G_d = \gamma_{sd}(\gamma_{G,j} * G + \gamma_{Q,1} * G * \varphi_2) \quad (4.1)$$

$$\gamma_{sd} = 1,15 \quad [\text{Partialkoefficient för osäkerhet i beräkningsmodell}]$$

$$\gamma_{G,j} = 1,35 \quad [\text{Partialkoefficient för permanent last}]$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5 \quad [\text{Partialkoefficient för variabel last}]$$

$$G = b * h * l * \rho * g \quad (4.2)$$

$$b = 1,2m \quad [\text{Bredd på element}]$$

$$h = 0,259m \quad [\text{Höjd på element}]$$

$$l = 12m \quad [\text{Längd på element}]$$

$$\rho_m = 520 \text{ kg/m}^3 \quad [\text{Medeldensitet angivet av tillverkaren}]$$

$$g = 9,82 \text{ m/s}^2 \quad [\text{Tynghdaccelerationen}]$$

$$G = 1,2 * 0,259 * 12 * 520 * 9,82 = 19,04kN \quad (4.3)$$

För att ta hänsyn till de dynamiska effekter som uppstår vid lyft användes dynamikfaktorn φ_2 som beräknas i ekvation 4.4. Denna faktor beror på vilken lyftklass kranen som används tillhör samt kranens lyfthastighet (SIS 2006).

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 * v_h \quad (4.4)$$

$$\varphi_{2,min} = 1,10 \quad [\text{HC2 - Mobilkran}]$$

$$\beta_2 = 0,34 \quad [\text{HC2 - Mobilkran}]$$

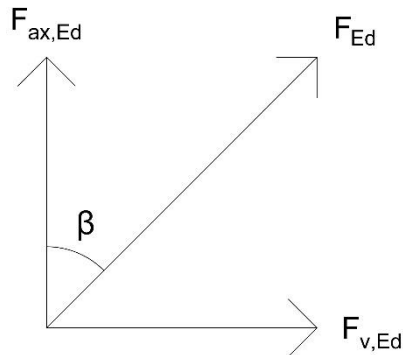
$$v_h = 0,14m/s \quad [\text{Lyfthastighet kran}]$$

$$\varphi_2 = 1,10 + 0,34 * 0,14 = 1,1476 \quad (4.5)$$

$$G_d = 1,15(1,35 * 19,04 * 10^3 + 1,5 * 19,04 * 10^3 * 1,1476) = 67,25kN \quad (4.6)$$

4.2 Kraftkomposanter

För att få fram belastningen på varje lyftpunkt beräknades kraftkomposanterna för lyftpunkterna fram. Beräkningarna utgick från en lyftvinkel $\beta = 45^\circ$ samt att fyra lyftpunkter används, en beskrivning av vinklar och krafter visas i Figur 4.1.



Figur 4.1 Kraftkomposanter och lyftvinkel.

Beräkning av vertikal kraftkomposant, där G_d är taget från ekvation 4.6.:

$$F_{ax,Ed} = \frac{G_d}{4} \quad (4.7)$$

$$F_{ax,Ed} = \frac{67,25 \cdot 10^3}{4} = 16,81 \text{ kN} \quad (4.8)$$

Beräkning av horisontell kraftkomposant:

$$F_{v,Ed} = \frac{F_{ax,Ed} \cdot \sin \beta}{\sin(90^\circ - \beta)} \quad (4.9)$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$F_{v,Ed} = \frac{16,81 \cdot 10^3 \cdot \sin 45^\circ}{\sin(90^\circ - 45^\circ)} = 16,81 \text{ kN} \quad (4.10)$$

Beräkning av kraftkomposant i lyftriktningen:

$$F_{Ed} = \frac{F_{ax,Ed} \cdot \sin 90^\circ}{\sin(90^\circ - \beta)} \quad (4.11)$$

$$F_{Ed} = \frac{16,81 \cdot 10^3 \cdot \sin 90^\circ}{\sin(90^\circ - 45^\circ)} = 23,77 \text{ kN} \quad (4.12)$$

4.3 Kant och ändavstånd för skruv

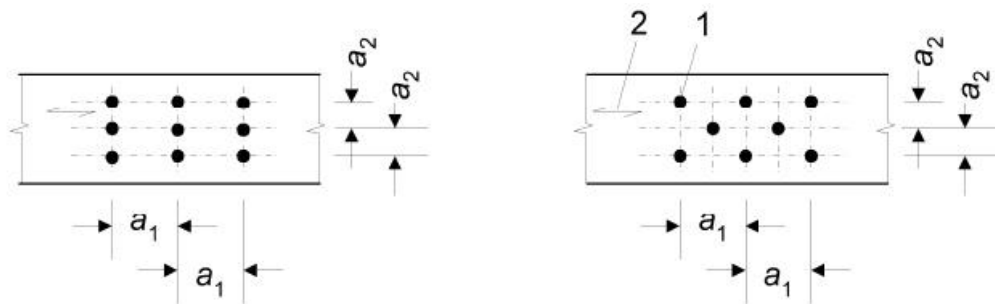
I alla beräkningar används skruv med diametern 10mm och där en vinkel ingår i beräkningen antogs på grund av osäkerhet vid olika lyftfall den vinkel som gav störst värde och därmed var på säker sida.

4.3.1 Tvärbelastad skruv

I Tabell 4.1 visas minsta kant- och ändavstånd för tvärkraftsbelastade skruvar och i Figur 4.2 och 4.3 visas hur dessa mäts.

Tabell 4.1 Minsta inbördes avstånd samt kant- och ändavstånd för tvärbelastade skruv. (SIS 2004)

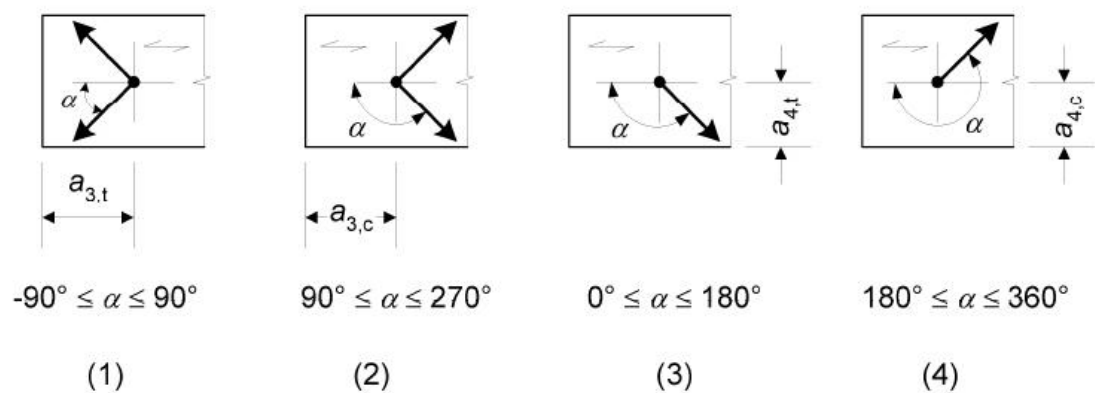
Typ av avstånd	Vinkel	Minsta avstånd
a_1 (parallellt fiberriktningen)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4+ \cos \alpha) d$
a_2 (vinkelrätt fiberriktningen)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4d$
$a_{3,t}$ (belastad ände)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max (7d; 80\text{mm})$
$a_{3,c}$ (obelastad ände)	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$4d$
$a_{4,t}$ (belastad kant)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max [(2+2 \sin \alpha) d; 3d]$
$a_{4,c}$ (obelastad kant)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$



Figur 4.2 Avstånd inom rad parallell med fiberriktningen och mellan rader vinkelräta fiberriktningen för tvärbelastade skruvförband. (SIS 2004)

Förklaring till Figur 4.2

- 1 Förbindare
- 2 Fiberriktning



Figur 4.3 Kant och ändavstånd för tvärbelastade skruvförband. (SIS 2004)

Förklaring till Figur 4.3

- 1 Belastad ände
- 2 Obelastad ände
- 3 Belastad kant
- 4 Obelastad kant

Beräkning av inbördes avstånd samt änd- och kantavstånd:

$$a_1 = (4 + |\cos 0^\circ|) * 10 = 50\text{mm} \quad (4.13)$$

$$a_2 = 4 * 10 = 40\text{mm} \quad (4.14)$$

$$a_{3,t} = \max[7 * 10 = 70\text{mm}; 80\text{mm}] = 80\text{mm} \quad (4.15)$$

$$a_{3,c} = 4 * 10 = 40\text{mm} \quad (4.16)$$

$$a_{4,t} = \max[(2 + 2 \sin 90^\circ) * 10 = 40; 3 * 10 = 30] = 40\text{mm} \quad (4.17)$$

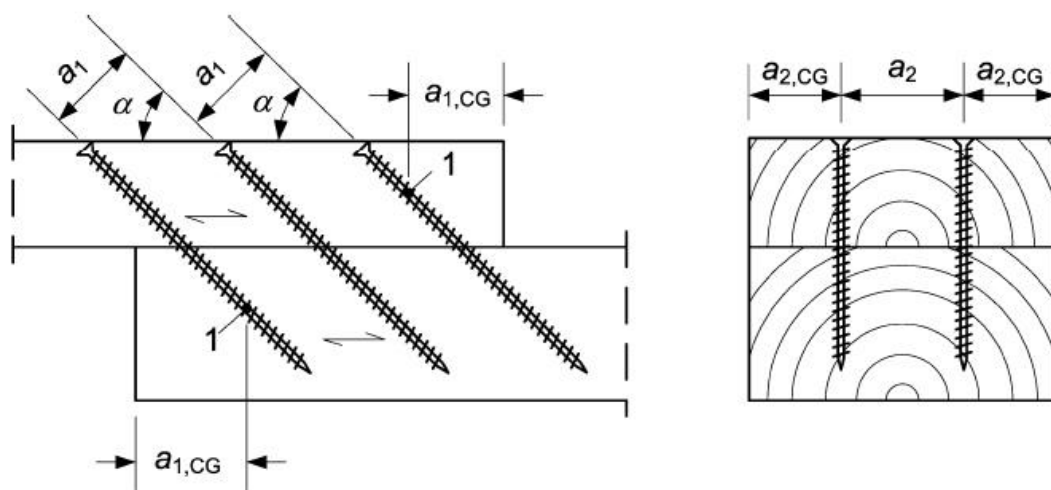
$$a_{4,c} = 3 * 10 = 30\text{mm} \quad (4.18)$$

4.3.2 Axiellt belastad skruv

I Tabell 4.2 visas minsta kant- och ändavstånd för axiellt belastade skruvar och i Figur 4.4 visas hur dessa mäts.

Tabell 4.2 Minsta inbördes avstånd samt kant- och ändavstånd för axiellt belastade träskruv. (SIS 2004)

Minimiavstånd mellan träskruvar i ett plan parallellt med fiberriktningen	Minimiavstånd mellan träskruvar i ett plan vinkelrätt mot fiberriktningen	Minsta ändavstånd från tyngdpunkten för den gängade delen av träskruven i virkesdelen	Minsta kantavstånd från tyngdpunkten för den gängade delen av träskruven i virkesdelen
a_1	a_2	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
7d	5d	10d	4d



Figur 4.4 Inbördes avstånd samt änd- och kantavstånd för axiellt belastade skruvförband. (SIS 2004)

Beräkning av inbördes avstånd samt änd- och kantavstånd

$$a_1 = 7 * 10 = 70\text{mm} \quad (4.19)$$

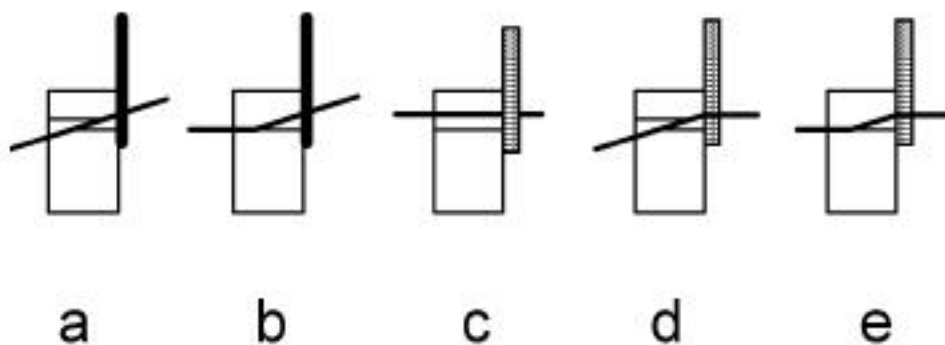
$$a_2 = 5 * 10 = 50\text{mm} \quad (4.20)$$

$$a_{1,CG} = 10 * 10 = 100\text{mm} \quad (4.21)$$

$$a_{2,CG} = 4 * 10 = 40\text{mm} \quad (4.22)$$

4.4 Brottmoder

De brottmoder som förekommer vid skjuvberäkningar visas i Figur 4.5. Brottmod a och b användes för beräkningarna av lyftskruv med kulankare, detta på grund av kulankarets utseende och dimensioner, då godstjockleken på ankaret vid infästningen mot skruven var mindre än skruvens diameter. Brottmoder c, d och e användes vid beräkningar av en första prototyp av lyftplatta då denna antogs ha en tjocklek som var större än eller lika med diametern på skruven. Till den slutliga prototypen användes istället även där brottmod a och b eftersom att godset i plattans botten där var tunnare än skruvens diameter.



Figur 4.5 Brottmoder för förband mellan trä och stål. (SIS 2004)

Förklaring till Figur 4.5

a och b För tunn plåt i ett skjuvningsplan.

c, d och e För tjock plåt i ett skjuvningsplan.

Karakteristisk skjuvbärförmåga för skruv per skjuvningsplan och brottmod.

Ekvation 4.23 användes för beräkningar med kulankare och den slutliga prototypen för lyftplattorna medan ekvation 4.24 användes vid beräkningar av en första prototyp till lyftplatta, detta berodde på att godstjockleken på plattan var olika på prototyperna. Beräkningarna för den första prototypen visas ej i rapporten. Bokstäverna a-e visar till vilken brottmod de olika ekvationerna hör.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 * f_{h,\alpha,k} * t_1 * d \\ 1,15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,\alpha,k} * d} + \frac{F_{ax,k,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{a} \\ \text{b} \end{array} \quad (4.23)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,\alpha,k} * t_1 * d * \left(\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} * d * t_1^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,k,Rk}}{4} \\ 2,3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,\alpha,k} * d} + \frac{F_{ax,k,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{c} \\ \text{d} \\ \text{e} \end{array} \quad (4.24)$$

5 Andra urvalet

Efter den kortare studien av olika lyftredskap valdes, i samråd med Martinsons, tre metoder ut som ansågs vara intressanta för en mer djupgående analys där hållfasthets- och kostnadsberäkningar gjordes. De tre lyftredskap som valdes i kapitel 3 var lyftskruv med kulankare, skruvad lyftplatta och lyft med bandstropp. Dessa ansågs vara lättast att använda och krävde minst förberedelser på fabriken. Vid ett möte med en av företagets säljare⁴ framkom det att man vid besök på ett antal byggarbetsplatser hade lagt märke till att personen som kopplar elementen till kranen är stillastående medan lyftet utförs. Detta var en av huvudanledningarna till att lyftredskap som monteras på arbetsplatsen valdes istället för förslag som måste monteras i fabriken. Genom att låta byggnadsarbetaren som kopplar elementen montera lyftredskapet minskar man således på stilleståndstiden och hela byggprocessen blir mer effektiv.

Under projektets gång gjordes ett flertal testberäkningar med olika materialparametrar, främst för KL-träet, på grund av att det fanns oklarheter i vilka värden som skulle användas. Det som skapade mest förvirring kring hur beräkningarna skulle genomföras var valet av densitet. Enligt Martinsons tidigare tryckta handbok var medeldensiteten på elementen 400kg/m^3 medan det vid senare tester visat sig ligga närmare 520kg/m^3 . Vidare bestod elementen även av olika virkeskvaliteter där de längsgående lagren var av kvalitet C24 och de tvärgående lagren var C14⁵. Slutligen bestämdes i samråd med företaget att utföra beräkningarna med medeldensiteten 520kg/m^3 och som om hela elementet bestod av C24. Ett ytterligare problem var att utseendet på lyftplattan utvecklades och förändrades med tiden och beroende på hur den såg ut ändrades beräkningsförutsättningarna. Beroende på plattans tjocklek fick olika brottmoder användas.

5.1 Lyftskruv med kulankare

Det kulankare som studien utgick från var DEHA Universalhuvud 6102 från tillverkaren Halfen och deras maxkapacitet var 1,3ton/ankare (Halfen 2012). Tillverkaren hade kulankare för belastningar upp till 45ton/ankare men det var bara det minsta ankaret som passade i storlek till lyftskruvens huvud. På grund av att den sammanlagda lyftkapaciteten för fyra ankare är 5,2ton så beror det på vilket värde på maxlasten som används om denna metod överhuvudtaget skall gå att använda för de största elementen. Antingen används den dimensionerande egenvikten av en skiva beräknat i ekvation 4.6 som var ca 6,7ton eller den verkliga egenvikten beräknat i ekvation 4.3 som var ca 1,9ton. Används det dimensionerande värdet betyder det att även om skruvarna som fäster ankaret till elementen skulle klara belastningen så blir själva ankarna överbelastade medan om den verkliga lasten används kommer det gå att lyfta det största elementet såvida skruven har tillräcklig utdragshållfasthet.

För att få en rättvis jämförelse mellan de olika alternativen valdes ändå att göra alla beräkningar utifrån detta största element som företaget kan producera. En möjlig

⁴ Daniel Wiklund (Säljare, Martinsons Byggsystem) möte med författaren den 19 mars 2014

⁵ Johan Königsson (Projektleddare och konstruktör, Martinsons Byggsystem) möte med författaren den 5 maj 2014.

lösning för att kunna använda ett ankare som klarar en större belastning skulle kunna vara att använda någon form av bricka till skruven för att på så sätt göra huvudet större.

Skruben som användes vid beräkning av lyftet var en SFS-WFD med diametern 10mm från tillverkaren SFS-Intec. Det fanns två möjliga sätt att montera skruvarna på, antingen skruvade man i lyftskruven vinkelrätt mot elementet eller i en sned vinkel så att kraften togs upp rakt igenom skruven. Båda alternativen utreddes för att hitta det mest effektiva. Den raka skruven gick att montera antingen i ett urfräst hål vilket gör att tvärkrafterna som verkar på skruven blir mindre och istället tas upp av ankaret eller så monteras det utan urfräsning vilket istället bidrar till ett snabbare montage utan extra för- och efterarbete (Rothoblaas 2011). Här valdes att räkna på metoden som inte skall fräsas ned eftersom Martinsons föredrog en snabb och enkel lösning.

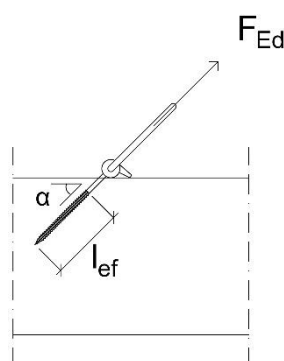
I enlighet med Eurokod 5 bör alla skruvar med en diameter större än $d = 6\text{mm}$ monteras i ett förborrat hål (SIS 2004).

5.1.1 Hållfasthetsberäkning

Alla beräkningar baseras på Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner, SS-EN 1995-1-1:2004. Skruven som används i beräkningarna var en SFS WFD med diametern 10mm och längden 200mm, där gängans längd var 125mm.

Sned skruv

Principen för lyftet visas i Figur 5.1.



Figur 5.1 Infästning av sned lyftskruv.

Utdragshållfasthet

Den karakteristiska utdragshållfastheten för en sned skruv med vinkeln α mellan skruv och fiberriktning beräknas enligt ekvation 5.1. Då det endast finns en skruv i förbandet sätts $n_{ef} = 1$.

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} * f_{ax,k} * d_g * l_{ef} * k_d}{1,2 * \cos^2(90^\circ - \alpha) + \sin^2(90^\circ - \alpha)} \quad (5.1)$$

$$f_{ax,k} = 0,52 d_g^{-0,5} * l_{ef}^{-0,1} * \rho_k^{0,8} \quad \text{[Den karakteristiska utdrags-} \quad (5.2)$$

hållfastheten vinkelrätt mot
fiberriktningen]

$$d_g = 10\text{mm} \quad \text{[Diametern på skruvens gänga]}$$

$$l_{ef} = 125\text{mm} \quad [\text{Inträngningsdjup för den gängade delen}]$$

$$\rho_k = 350\text{ kg/m}^3 \quad [\text{Den karakteristiska densiteten, angivet av tillverkaren}]$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d_g}{8} = \frac{10}{8} = 1,25 \right\} = 1 \quad (5.3)$$

$$\alpha = 45^\circ \quad [\text{Vinkeln mellan skruv och fiberriktning}]$$

$$f_{ax,k} = 0,52 * 10^{-0,5} * 125^{-0,1} * 350^{0,8} = 11,00\text{ N/mm}^2 \quad (5.4)$$

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{1 * 11,00 * 10 * 125 * 1}{1,2 * \cos^2(90^\circ - 45^\circ) + \sin^2(90^\circ - 45^\circ)} = 12,50\text{ kN} \quad (5.5)$$

Beräkningsvillkor

För att infästningen skall vara godkänd bör sambandet mellan belastning och bärförmåga kontrolleras enligt ekvation 5.6.

$$\frac{F_{Ed}}{F_{ax,Rd}} \leq 1 \quad (5.6)$$

Det karakteristiska värdet på bärförmågan av skruvens gängor beräknat i ekvation 5.5, beräknas om till dimensionerande värde med ekvation 5.7. Det dimensionerande värdet på lasten är hämtat från ekvation 4.12.

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{ax,k,Rk}}{\gamma_M} \quad (5.7)$$

$$k_{mod} = 0,9 \quad [\text{Lastvaraktighets- och fuktfaktor för kortvarig last}]$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad [\text{Partialkoefficient för förband}]$$

$$F_{ax,Rd} = 0,9 * \frac{12,50 * 10^3}{1,3} = 8,65\text{ kN} \quad (5.8)$$

Kontroll av villkor:

$$\frac{23,77 * 10^3}{8,65 * 10^3} = 2,75 > 1 \Rightarrow \text{Ej Ok} \quad (5.9)$$

Förutom skruvens utdragshållfasthet bör även risken för att huvudet på skruven dras loss beaktas, detta görs med ekvation 5.10 där $F_{t,Rd}$ är den dimensionerande dragbärförmågan hos förbandet och värdet för belastningen, F_{Ed} , är beräknat i ekvation 4.12.

$$\frac{F_{Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (5.10)$$

$$F_{t,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_M} \quad (5.11)$$

$$F_{t,Rk} = n_{ef} * f_{tens,k} \quad (5.12)$$

$$f_{tens,k} = 37,60\text{ kN} \quad [\text{Träskruvens karakteristiska dragbärförmåga, angivet av tillverkaren för } d_g = 10\text{mm}]$$

$$F_{t,Rk} = 1 * 37,6 * 10^3 = 37,60kN \quad (5.13)$$

Det karakteristiska värdet på dragbärförmågan i skruven beräknat i ekvation 5.13, beräknas om till dimensionerande värde med ekvation 5.14. Det dimensionerande värdet på lasten är hämtat från ekvation 4.12.

$$F_{t,Rd} = 0,9 * \frac{37,6*10^3}{1,3} = 26,03kN \quad (5.14)$$

Kontroll av villkor:

$$\frac{23,77*10^3}{26,03*10^3} = 0,91 < 1 \Rightarrow Ok \quad (5.15)$$

I Tabell 5.1 visas resultatet av hållfasthetsberäkningar för lyft av ytterligare ett antal av de elementstorlekar som Martinsons tillverkar, alla beräkningar utgår från det som visats ovan. Ett streck i tabellen betyder att det inte är möjligt att utföra lyftet, antingen beroende på att det inte finns skruv med tillräckligt lång gänga eller att gängan är längre än vad elementet är tjockt och då är det elementtjockleken som är begränsningen för utdragsbärförmågan.

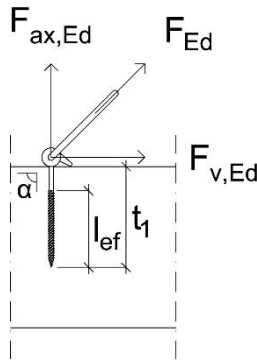
Tabell 5.1 Resultat av beräkningar för en sned lyftskruv.

Elementparametrar			Skruvlängd (mm)			
			2 Lyftpunkter		4 Lyftpunkter	
Tjocklek (mm)	Längd (m)	Vikt (kg)	β 0-45°	β 45-60°	β 0-45°	β 45-60°
70	2	84	70	70	70	70
	4	168	100	-	70	70
	6	252	-	-	70	100
	8	336	-	-	100	-
	10	420	-	-	-	-
	12	504	-	-	-	-
259	2	311	200	-	80	120
	4	622	-	-	200	-
	6	932	-	-	-	-
	8	1243	-	-	-	-
	10	1554	-	-	-	-
	12	1865	-	-	-	-

Rak skruv

Alla beräkningar baseras på Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner, SS-EN 1995-1-1:2004. Skruven som används i beräkningarna var en SFS WFD med diametern 10mm och längden 200mm, där gängans längd var 125mm.

Principen för lyftet visas i Figur 5.2.



Figur 5.2 Infästning av rak lyftskruv.

Utdragshållfasthet

Den karakteristiska utdragshållfastheten för en skruv vinkelrätt mot fiberriktning beräknas enligt ekvation 5.16. Då det endast finns en skruv i förbandet sätts $n_{ef} = 1$.

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} * f_{ax,k} * d_g * l_{ef} * k_d}{1,2 * \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (5.16)$$

$$f_{ax,k} = 0,52 d_g^{-0,5} * l_{ef}^{-0,1} * \rho_k^{0,8} \quad \text{[Den karakteristiska utdrags-} \quad (5.17)$$

hållfastheten vinkelrätt mot
fiberriktningen]

$$d_g = 10 \text{ mm} \quad \text{[Diametern på skruvens gänga]}$$

$$l_{ef} = 125 \text{ mm} \quad \text{[Inträngningsdjup för den gängade delen]}$$

$$\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3 \quad \text{[Den karakteristiska densiteten,} \\ \text{angivet av tillverkaren]}$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d_g}{8} = \frac{10}{8} = 1,25 \right\} = 1 \quad (5.18)$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$f_{ax,k} = 0,52 * 10^{-0,5} * 125^{-0,1} * 350^{0,8} = 11,00 \text{ N/mm}^2 \quad (5.19)$$

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{1 * 11,00 * 10 * 125 * 1}{1,2 * \cos^2 90^\circ + \sin^2 90^\circ} = 13,75 \text{ N} \quad (5.20)$$

Skjuvhållfasthet

Vid användning av en rak lyftskruv belastas skruven inte enbart av en axiell kraft utan även av en skjuvande kraft. Skjuvhållfastheten i skruven beräknas med det minsta av värdena som fås genom ekvation 5.21. På grund av att skjuvningsplanet ligger vid skruvens hals används denna diameter (d_h) istället för gängans diameter (d_g).

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 * f_{h,\alpha,k} * t_1 * d_h}{1,15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,\alpha,k} * d_h}} + \frac{F_{ax,k,Rk}}{4} \right\} \quad (5.21)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \begin{array}{l} \text{[Karakteristisk bäddhållfasthet} \\ \text{vid vinkel } \alpha \text{ mot fiberriktningen]} \end{array} \quad (5.22)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d_h)\rho_k \quad \text{[Karakteristisk bäddhållfasthet parallellt fiberriktningen]}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d_h \quad \text{[Materialparameter för barrträd]} \quad (5.23)$$

$$d_h = 7mm \quad \text{[Diametern på skruvens hals]}$$

$$\rho_k = 350 kg/m^3 \quad \text{[Den karakteristiska densiteten, angivet av tillverkaren]}$$

$$\alpha = 90^\circ \quad \text{[Vinkeln mellan skruv och fiberriktning]}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01 \cdot 7) \cdot 350 = 26,69 N/mm^2 \quad (5.24)$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot 7 = 1,46 \quad (5.25)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{26,69}{1,5 \cdot \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = 18,28 N/mm^2 \quad (5.26)$$

Kulhansken behöver ett avstånd på 15mm mellan skruvens huvud och elementet, därför beräknas inträngningsdjupet för skruven enligt ekvation 5.27.

$$t_1 = l - 15 \quad \begin{array}{l} \text{[Det minsta värdet av} \\ \text{inträngningsdjupet och} \\ \text{virkestjockleken]} \end{array} \quad (5.27)$$

$$l = 200 \quad \text{[Skruvens längd]}$$

$$t_1 = 200 - 15 = 185mm \quad (5.28)$$

$$M_{y,Rk} = 26390 Nmm \quad \begin{array}{l} \text{[Karakteristiskt flytmoment, angivet} \\ \text{angivet av tillverkaren för } d_g = 10mm] \end{array}$$

$$F_{ax,Rk} = 13,75kN \quad \text{[Utdragshållfastheten från ekvation 5.20]}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot 18,28 \cdot 185 \cdot 7 = 9,47kN \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 26390 \cdot 18,28 \cdot 7} + \frac{13750}{4} = 6,43kN \end{array} \right. \quad (5.29)$$

$$F_{v,Rk} = 6,43kN$$

Beräkningsvillkor

För infästningar som belastas med kombinerad axialkraft och tvärkraft bör villkoret i ekvation 5.30 vara uppfyllt.

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (5.30)$$

Det karakteristiska värdet på bärförmågan av skruvens gängor beräknat i ekvation 5.20, samt det karakteristiska värdet på skruvens skjuvhållfasthet beräknat i ekvation 5.29, beräknas om till dimensionerande värde med ekvation 5.31 och 5.32. Det dimensionerande värdet på lasten är hämtat från ekvation 4.8 och 4.10.

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{ax,Rk}}{\gamma_M} \quad (5.31)$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (5.32)$$

$$k_{mod} = 0,9 \quad \text{[Lastvaraktighets- och fuktfaktor för kortvarig last]}$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad \text{[Partialkoefficient för förband]}$$

$$F_{ax,Rd} = 0,9 * \frac{13,75 * 10^3}{1,3} = 9,52 kN \quad (5.33)$$

$$F_{v,Rd} = 0,9 * \frac{6,43 * 10^3}{1,3} = 4,45 kN \quad (5.34)$$

Kontroll av villkor:

$$\left(\frac{16,81 * 10^3}{9,52 * 10^3} \right)^2 + \left(\frac{16,81 * 10^3}{4,45 * 10^3} \right)^2 = 17,39 > 1 \Rightarrow Ej Ok \quad (5.35)$$

Förutom skruvens utdragshållfasthet bör även risken för att huvudet på skruven dras loss beaktas, detta görs enligt ekvation 5.36 där $F_{t,Rd}$ är den dimensionerande dragbärförmågan hos förbandet, värdet för belastningen, $F_{ax,Ed}$, är beräknat i ekvation 4.8.

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (5.36)$$

$$F_{t,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_M} \quad (5.37)$$

$$F_{t,Rk} = n^{0,9} * f_{tens,k} \quad (5.38)$$

$$f_{tens,k} = 37,60 kN \quad \text{[Träskruvens karakteristiska dragbärförmåga, angivet av tillverkaren för } d_g = 10 \text{ mm]}$$

$$F_{t,Rk} = 1^{0,9} * 37,6 * 10^3 = 37,60 kN \quad (5.39)$$

$$F_{t,Rd} = 0,9 * \frac{37,60 * 10^3}{1,3} = 26,03 kN \quad (5.40)$$

Kontroll av villkor:

$$\frac{16,81 * 10^3}{26,03 * 10^3} = 0,65 < 1 \Rightarrow Ok \quad (5.41)$$

I Tabell 5.2 visas resultatet av hållfasthetsberäkningar för lyft av ytterligare ett antal av de elementstorlekar som Martinsons tillverkar, alla beräkningar utgår från det som visats ovan. Ett streck i tabellen betyder att det inte är möjligt att utföra lyftet, antingen beroende på att det inte finns skruv med tillräckligt lång gänga eller att gängen är längre än vad elementet är tjockt och då är det elementtjockleken som är begränsningen för utdragshållfastheten.

Tabell 5.2 Resultat av beräkningar för en rak lyftskruv.

Elementparametrar			Skruvlängd (mm)			
			2 Lyftpunkter		4 Lyftpunkter	
Tjocklek (mm)	Längd (m)	Vikt (kg)	β 0-45°	β 45-60°	β 0-45°	β 45-60°
70	2	84	80	-	70	70
	4	168	-	-	70	-
	6	252	-	-	-	-
	8	336	-	-	-	-
	10	420	-	-	-	-
	12	504	-	-	-	-
259	2	311	-	-	120	-
	4	622	-	-	-	-
	6	932	-	-	-	-
	8	1243	-	-	-	-
	10	1554	-	-	-	-
	12	1865	-	-	-	-

5.1.2 Kostnadsberäkning

Kostnaden för varje lyftpunkt är beräknad utifrån prislistor från tillverkarna av skruven, SFS Intec (SFS 2014), och för lyftankarna Halfen (Halfen 2011). Priserna bör bara ses som ett verktyg för jämförelse mellan de olika alternativen och de verkliga priserna efter upphandling kan vara annorlunda. I Tabell 5.3 visas en sammanställning av priserna för lyftankare med 1,3tons kapacitet och i Tabell 5.4 för kapaciteten 2,5ton

Tabell 5.3 Pris för kulankare 1,3ton.

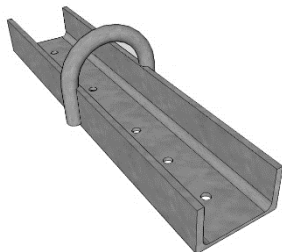
Produkt	Beskrivning	Pris/enhet
Kulankare	DEHA Universalhuvud 1,3ton	684kr
Skruv	SFS WFD 10x200mm	12,28kr
Summa		696,28kr

Tabell 5.4 Pris för kulankare 2,5ton.

Produkt	Beskrivning	Pris/enhet
Kulankare	DEHA Universalhuvud 2,5ton	920kr
Skruv	SFS WFD 10x200mm	12,28kr
Summa		932,28kr

5.2 Skruvad lyftplatta

Den prototyp som togs fram bestod av en UPE 100 med sex hål för skruvarna samt en svetsad lyftögla, se Figur 5.3. Skruvarna som används för att fästa plåten mot elementet var 6st 140mm SFS-WFD skruv med en effektiv längd på 108mm (den inträngande gängans längd).



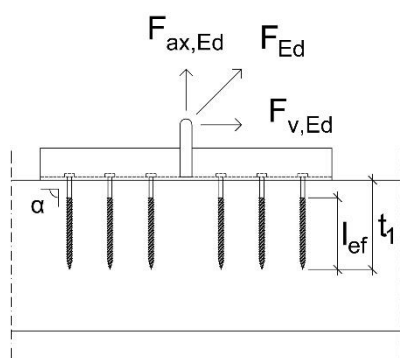
Figur 5.3 Prototyp på lyftplatta med UPE-profil.

I enlighet med Eurokod 5 bör alla skruvar med en diameter större än $d = 6\text{mm}$ monteras i ett förborrat hål (SIS 2004).

5.2.1 Hållfasthetsberäkning

Alla beräkningar baseras på Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner, SS-EN 1995-1-1:2004 och Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner, SS-EN 1993-1-8:2005. Skruven som används i beräkningarna var en SFS WFD med diametern 10mm och längden 140mm, där gängans längd var 108mm. Varje lyftplatta antogs fästas med sex skruv. Hållfasthetsvärden för skruven är angivna av tillverkaren.

Principen för lyftet visas i Figur 5.4.



Figur 5.4 Infästning av lyftplatta.

Utdragshållfasthet skruv

Den karakteristiska utdragshållfastheten för ett skruvförband vinkelrätt mot fiberriktning beräknas enligt ekvation 5.42.

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} * f_{ax,k} * d_g * l_{ef} * k_d}{1,2 * \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (5.42)$$

Då beräkningarna görs för en skruv sätts $n_{ef} = 1$, inverkan av alla skruvar i förbandet tas hänsyn till i ekvation 5.61.

$$f_{ax,k} = 0,52d^{-0,5} * l_{ef}^{-0,1} * \rho_k^{0,8} \quad \begin{array}{l} \text{[Den karakteristiska utdrags-} \\ \text{hållfastheten vinkelrätt mot} \\ \text{fiberriktningen]} \end{array} \quad (5.43)$$

$$d_g = 10mm \quad \text{[Diametern på skruvens gänga]}$$

$$l_{ef} = 108mm \quad \text{[Inträngningsdjup för den gängade delen]}$$

$$\rho_k = 350 kg/m^3 \quad \text{[Den karakteristiska densiteten,} \\ \text{angivet av tillverkaren]}$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d_g}{8} = \frac{10}{8} = 1,25 \right\}_1 = 1 \quad (5.44)$$

$$\alpha = 90^\circ \quad \text{[Vinkeln mellan skruv och fiberriktning]}$$

$$f_{ax,k} = 0,52 * 10^{-0,5} * 108^{-0,1} * 350^{0,8} = 11,17 N/mm^2 \quad (5.45)$$

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{1 * 11,17 * 10 * 108 * 1}{1,2 * \cos^2 90^\circ + \sin^2 90^\circ} = 12,06 kN \quad (5.46)$$

Skjuvhållfasthet skruv

Vid användning av lyftplattorna kommer skruvarna i förbandet att belastas av både en axialkraft och en skjuvkraft. Skjuvbärförmågan för en skruv i förbandet bestäms med ekvation 5.47 till det minsta av de två värdena. På grund av att skjuvningsplanet ligger vid skruvens hals används denna diameter (d_h) istället för gängans diameter (d_g).

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 * f_{h,\alpha,k} * t_1 * d_h}{1,15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,\alpha,k} * d_h}} + \frac{F_{ax,k,Rk}}{4} \right\} \quad (5.47)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \begin{array}{l} \text{[Karakteristisk bäddhållfasthet} \\ \text{vid vinkel } \alpha \text{ mot fiberriktningen]} \end{array} \quad (5.48)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d_h)\rho_k \quad \text{[Karakteristisk bäddhållfasthet} \\ \text{parallellt fiberriktningen]}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d_h \quad \text{[Materialparameter för barrträd]} \quad (5.49)$$

$$d_h = 7mm \quad \text{[Diametern på skruvens hals]}$$

$$\rho_k = 350 kg/m^3 \quad \text{[Den karakteristiska densiteten,} \\ \text{angivet av tillverkaren]}$$

$$\alpha = 90^\circ \quad \text{[Vinkeln mellan skruv och fiberriktning]}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01 * 7) * 350 = 26,69 N/mm^2 \quad (5.50)$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 * 7 = 1,46 \quad (5.51)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{26,69}{1,46 * \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = 18,28 N/mm^2 \quad (5.52)$$

Tjockleken på lyftplattan antas vara 6mm, därför beräknades inträngningsdjupet av skruven enligt ekvation 5.53.

$$t_1 = l - 6 \quad \begin{array}{l} \text{[Det minsta värdet av} \\ \text{inträngningsdjupet och} \\ \text{virkestjockleken]} \end{array} \quad (5.53)$$

$$l = 140 \quad [\text{Skruvens längd}]$$

$$t_1 = 140 - 6 = 134 \text{ mm} \quad (5.54)$$

$$M_{y,Rk} = 26390 \text{ Nmm} \quad [\text{Karakteristiskt flytmoment, angivet av tillverkaren för } d_g = 10 \text{ mm}]$$

$$F_{ax,k,Rk} = 9,62 \text{ kN} \quad [\text{Utdragshållfastheten från ekvation 5.46}]$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 * 18,28 * 134 * 7 = 6,86 \text{ kN} \\ 1,15 * \sqrt{2 * 26390 * 18,28 * 7} + \frac{12060}{4} = 6,00 \text{ kN} \end{array} \right. \quad (5.55)$$

$$F_{v,Rk} = 6,00 \text{ kN}$$

Hålkantbrott lyftplatta

Eftersom lyftplattan belastas med en horisontal kraft i plattans längdriktning måste beslagets hållfasthet mot hålkantbrott kontrolleras. Alla beräkningar är baserade på SS-EN 1993-1-8:2005, hållfastheten beräknas enligt ekvation 5.56.

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * d_h * t}{\gamma_{M2}} \quad (5.56)$$

$$a_b = \min \left\{ \begin{array}{l} a_{d,1}; a_{d,2} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{array} \right. \quad (5.57)$$

$$a_{d,1} = \frac{e_1}{3 * d_0} \quad (5.58)$$

$$a_{d,2} = \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4} \quad (5.59)$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right. \quad (5.60)$$

$$e_1 = 50 \text{ mm} \quad [\text{Avstånd från skruvcentrum till ände}]$$

$$e_2 = 50 \text{ mm} \quad [\text{Avstånd från skruvcentrum till kant}]$$

$$p_1 = 70 \text{ mm} \quad [\text{Avstånd mellan skruvcentrum}]$$

$$f_u = 510 \text{ MPa} \quad [\text{Stålkvalitet på lyftplatta S355}]$$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa} \quad [\text{Antaget hållfasthetsvärde på skruv}]$$

$$d_h = 7 \text{ mm} \quad [\text{Diametern på skruvens hals}]$$

$$t = 6 \text{ mm} \quad [\text{Tjockleken på lyftplåten}]$$

$$\gamma_{M2} = 1,1 \quad [\text{Partialkoefficient för stål}]$$

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 * \frac{50}{11} - 1,7 = 11,03 \\ 2,5 \end{array} \right\} = 2,5 \quad (5.61)$$

$$a_{d,1} = \frac{50}{3 * 11} = 1,52 \quad (5.62)$$

$$a_{d,2} = \frac{70}{3 * 11} - \frac{1}{4} = 1,87 \quad (5.63)$$

$$a_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,52; 1,87 \\ \frac{800}{510} = 1,57 \\ 1,0 \end{array} \right\} = 1 \quad (5.64)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 510 \cdot 7 \cdot 6}{1,1} = 48,68 \text{ kN} \quad (5.65)$$

Vid ett enskärigt förband med endast en rad skruvar bör hållfastheten för hålkantsbrott begränsas enligt ekvation 5.66.

$$F_{b,Rd} \leq \frac{1,5 \cdot f_u \cdot d_n \cdot t}{\gamma_{M2}} \quad (5.66)$$

$$\frac{1,5 \cdot 510 \cdot 7 \cdot 6}{1,1} = 29,21 \text{ kN} \leq 48,68 \text{ kN} \quad (5.67)$$

Detta gör att hållfastheten för hålkantsbrott sätts till $F_{b,Rd} = 29,21 \text{ kN}$.

Genomstansning lyftplatta

Hänsyn måste också tas till risken för genomstansning, alltså att skruvens huvud dras igenom lyftplattan. Bärförmågan för genomstansning beräknas enligt ekvation 5.68.

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (5.68)$$

$$d_m = 17 \text{ mm}$$

[Skruvhuvudets medeldiameter
angivet av tillverkaren]

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 17 \cdot 6 \cdot 510}{1,1} = 89,14 \text{ kN} \quad (5.69)$$

Beräkningsvillkor

Då skruvarna i förbandet är belastade med både axialkraft och tvärkraft bör villkoret i ekvation 5.56 vara uppfyllt.

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,ef,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,ef,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (5.70)$$

Det karakteristiska värdet på skruvens utdragsbärförmåga beräknat i ekvation 5.46, samt det karakteristiska värdet på skruvens skjuvhållfasthet beräknat i ekvation 5.55, beräknas om till dimensionerande värde med ekvation 5.57 och 5.58. Det dimensionerande värdet på lasten är hämtat från ekvation 4.8 och 4.10.

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,Rk}}{\gamma_M} \quad (5.71)$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (5.72)$$

$$k_{mod} = 0,9$$

[Lastvaraktighets- och fuktfaktor
för kortvarig last]

$$\gamma_M = 1,3$$

[Partialkoefficient för förband]

$$F_{ax,Rd} = 0,9 \cdot \frac{12,06 \cdot 10^3}{1,3} = 8,35 \text{ kN} \quad (5.73)$$

$$F_{v,Rd} = 0,9 \cdot \frac{6,00 \cdot 10^3}{1,3} = 4,15 \text{ kN} \quad (5.74)$$

Eftersom att dessa värden endast avser en skruv multipliceras detta värde med det effektiva antalet skruvar som verkar i förbandet enligt ekvation 5.61 och 5.62.

$$F_{ax,ef,Rd} = F_{ax,Rd} * n_{ef,1} \quad (5.75)$$

$$F_{v,ef,Rd} = F_{v,Rd} * n_{ef,2} \quad (5.76)$$

Det effektiva antalet skruvar beror dels på skruvens diameter men också på minsta avståndet mellan träskruvarna, detta värde fås genom att ta det största värdet av resultaten i ekvation 4.13 och 4.19

$$n_{ef,1} = n^{0,9} \quad \text{[Det effektiva antalet träskruvar vid axiell belastning]} \quad (5.77)$$

$$n_{ef,1}(n = 6) = 6^{0,9} = 5,02$$

$$n_{ef,2} = \min \left\{ n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d_h}} \right\} \quad \text{[Det effektiva antalet skruvar vid tvärbelastade skruvar]} \quad (5.78)$$

$$a_1 = \max \left\{ \begin{matrix} 50mm \\ 70mm \end{matrix} \right\} = 70mm \quad \text{[Från Ekvation 4.13 och 4.19]} \quad (5.79)$$

$$n_{ef,2}(n = 6) = \min \left\{ 6^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{70}{13*7}} \right\} = 4,70 \quad (5.80)$$

$$n_{ef,2} = 4,70$$

$$F_{ax,ef,Rd} = 8,35 * 10^3 * 5,02 = 41,92kN \quad (5.81)$$

$$F_{v,ef,Rd} = 4,15 * 10^3 * 4,70 = 19,51kN \quad (5.82)$$

Kontroll av villkor:

$$\left(\frac{16,81*10^3}{41,92*10^3} \right)^2 + \left(\frac{16,81*10^3}{19,51*10^3} \right)^2 = 0,90 < 1 \Rightarrow Ok \quad (5.83)$$

Förutom skruvens utdragshållfasthet bör även risken för att huvudet på skruven dras loss beaktas, detta görs med ekvation 5.84 där $F_{t,Rd}$ är den dimensionerande dragbärförmågan hos förbandet, värdet för belastningen, $F_{ax,Ed}$, är beräknat i ekvation 4.8.

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (5.84)$$

$$F_{t,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_M} \quad (5.85)$$

$$F_{t,Rk} = n^{0,9} * f_{tens,k} \quad (5.86)$$

$$f_{tens,k} = 37,60kN \quad \text{[Träskruvens karakteristiska dragbärförmåga, angivet av tillverkaren för } d_g = 10mm \text{]}$$

$$F_{t,Rk} = 6^{0,9} * 37,60 * 10^3 = 188,59kN \quad (5.87)$$

$$F_{t,Rd} = 0,9 * \frac{130,93*10^3}{1,3} = 130,56kN \quad (5.88)$$

Kontroll av villkor:

$$\frac{16,81*10^3}{130,56*10^3} = 0,13 < 1 \Rightarrow Ok \quad (5.89)$$

För att beakta risken för hålkantsbrott bör villkoret i ekvation 5.90 vara uppfyllt. $F_{v,Ed}$ beräknades i ekvation 4.10 till 16,81kN.

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} < 1 \quad (5.90)$$

Kontroll av villkor:

$$\frac{16,81*10^3}{29,21*10^3} = 0,58 < 1 \Rightarrow Ok \quad (5.91)$$

Risken för att skruvens huvud dras igenom lyftplattan kontrolleras med ekvation 5.92. $F_{ax,Ed}$ beräknades i ekvation 4.8 till 16,81kN.

$$\frac{F_{ax,Ed}}{B_{p,Rd}} < 1 \quad (5.92)$$

Kontroll av villkor:

$$\frac{16,81*10^3}{89,14*10^3} = 0,19 < 1 \Rightarrow Ok$$

Alla kontroller visar att infästningen mellan lyftplattan och elementet kommer att hålla.

I Tabell 5.5 visas resultatet av hållfasthetsberäkningar för lyft av ytterligare ett antal av de elementstorlekar som Martinsons tillverkar, alla beräkningar utgår från det som visats ovan. Ett streck i tabellen betyder att det inte är möjligt att utföra lyftet beroende på att den gängade delen av skruven inte var tillräckligt lång eller att det inte fanns någon längre skruv att använda på grund av tjockleken på elementet.

Tabell 5.5 Resultat av beräkningar för skruvad lyftplatta.

Elementparametrar			Antal skruv per lyftplatta (st) och skruvlängd (mm)			
			2 Lyftpunkter		4 Lyftpunkter	
Tjocklek (mm)	Längd (m)	Vikt (kg)	β 0-45°	β 45-60°	β 0-45°	β 45-60°
70	2	84	2x70mm	2x70mm	2x70mm	2x70mm
	4	168	2x70mm	2x70mm	2x70mm	2x70mm
	6	252	4x70mm	6x70mm	2x70mm	4x70mm
	8	336	4x70mm	4x100mm	2x70mm	4x70mm
	10	420	6x70mm	6x100mm	4x70mm	4x70mm
	12	504	6x70mm	-	4x70mm	6x70mm
259	2	311	4x70mm	6x70mm	2x70mm	4x70mm
	4	622	4x140mm	6x200mm	4x70mm	6x70mm
	6	932	6x140mm	-	6x70mm	6x140mm
	8	1243	-	-	4x140mm	6x200mm
	10	1554	-	-	6x140mm	-
	12	1865	-	-	6x140mm	-

5.2.2 Kostnadsberäkning

Kostnaden för skruven är hämtad ur prislister från SFS Intec (SFS 2014) och kostnaden för lyftplattan är beräknad utifrån en metod som Martinsons använder vid preliminär prissättning av smide i offertskedet då de räknar med att smide kostar 40kr/kg⁶. Anledningen till att ingen mer utförlig kostnadsberäkning gjordes var att endast en preliminär design av lyftplattan togs fram. Denna bestod av en 0,5m lång UPE-profil i stål med en svetsad lyftögla. Vikten på UPE-profilen var 9,82kg/m (Johannesson & Vretblad 2011) vilket ger en ungefärlig vikt på smidet av ca 5kg. Dessa värden låg till grund för prisuppskattningen i Tabell 5.6.

Tabell 5.6 Pris för lyftplatta.

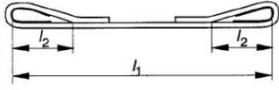
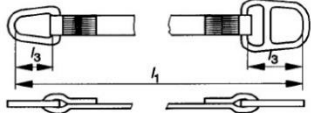
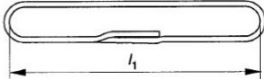
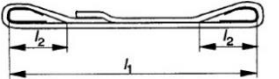
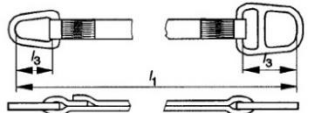
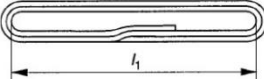
Produkt	Beskrivning	Pris/enhet
Lyftplatta	Egen tillverkning ca 5kg	5x40kr
Skruv	SFS WFD 10x120mm 6st	6x7kr
Summa		242kr

5.3 Bandstropp

Det finns många olika tillverkare av lyftband och stroppar. I Tabell 5.7 visas några huvudtyper av lyftband som förekommer på marknaden.

⁶ Johan Königsson (Projektledare och konstruktör, Martinsons Byggsystem) möte med författaren den 29 april 2014.

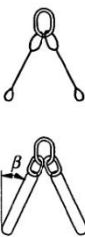
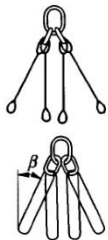
Tabell 5.7 Översikt och betäckningar för huvudtyper av flatvävda lyftband. (SIS 2008)

Form	A – ändlös	B – stropp med förstärkta öglor	C – Stropp med ändbeslag Cr – stropp med ändbeslag för snarning
Lastbärande ändbeslag			
Lastbärande del (enkel)		Enlagers stropp med förstärkta öglor 	Enlagers stropp med ändbeslag 
Lastbärande delar (dubbel)	Enlagers bandsling 	Tvålagers stropp med förstärkta öglor 	Tvålagers stropp med ändbeslag 
Lastbärande delar (fyrdubbel)	Tvålagers bandsling 		

5.3.1 Hållfasthetsberäkning

För bandstroppar gjordes inga handberäkningar på hållfastheten utan där gäller det att noggrant följa tillverkarens anvisningar angående hur stroppen skall användas samt vilken maximal last som får belasta stroppen. Detta berodde delvis på att alla bandstroppar måste vara märkta och testade enligt Tabell 5.8 (SIS 2008).

Tabell 5.8 Maxlast och färgkoder för lyftband. (SIS 2008)

Maxlast (WLL) för sydd band- komponent	Färg för sydd bandkomponent	Maxlast (WLL) i ton								
		Rakt lyft	Snarat lyft	Lyft i U-form			Tvåpartig stropp		Tre- och fyrpartig stropp	
				Parallell	$\beta =$ 0 till 45°	$\beta =$ 45 till 60°	$\beta =$ 0 till 45°	$\beta =$ 45 till 60°	$\beta =$ 0 till 45°	$\beta =$ 45 till 60°
										
		M = 1	M = 0,8	M = 2	M = 1,4	M = 1	M = 1,4	M = 1	M = 2,1	M = 1,5
1,0	Lila	1,0	0,8	2,0	1,4	1,0	1,4	1,0	2,1	1,5
2,0	Grön	2,0	1,6	4,0	2,8	2,0	2,8	2,0	4,2	3,0
3,0	Gul	3,0	2,4	6,0	4,2	3,0	4,2	3,0	6,3	4,5
4,0	Grå	4,0	3,2	8,0	5,6	4,0	5,6	4,0	8,4	6,0
5,0	Röd	5,0	4,0	10,0	7,0	5,0	7,0	5,0	10,5	7,5
6,0	Brun	6,0	4,8	12,0	8,4	6,0	8,4	6,0	12,6	9,0
8,0	Blå	8,0	6,4	16,0	11,2	8,0	11,2	8,0	16,8	12,0
10,0	Orange	10,0	8,0	20,0	14,0	10,0	14,0	10,0	21	15,0
Över 10,0	Orange									

M= Korrektionsfaktor för symmetrisk belastning. Hanteringsolerans för stroppar eller delar av stroppar visade som vertikala uppgår till 6°

M= Korrektionsfaktor för symmetrisk belastning. Hanterings tolerans för stroppar eller delar av stroppar visade som vertikala uppgår till 6°

Beroende på vilken last som används vid valet av lyftstropp får olika alternativ. Utgår man från den dimensionerande lasten på ca 6,4ton krävs två stroppar med maxlast (WLL) på 4ton medan om man utgår från den verkliga egenvikten på ca 1,8ton hade det räckt med två stroppar med WLL på 1ton.

5.3.2 Kostnadsberäkning

Vid användningen av lyftstroppar krävs det alltid att två stroppar används samtidigt oavsett om elementet är horisontellt eller vertikalt. Detta gör att kostnadsberäkningen i Tabell 5.9 och 5.10 utgår från att en lyftpunkt är en stropp vilket vid jämförelse med de två andra alternativen blir lite missvisande eftersom att det där behövs fyra lyftpunkter. Priserna är hämtade från leverantören Esska.se (Esska 2014).

Tabell 5.9 Pris för bandstropp 1ton.

Produkt	Beskrivning	Pris/enhet
Bandstropp	Maxlast (WLL) 1ton 6m lång	166kr
Summa		166kr

Tabell 5.10 Pris för bandstropp 4ton.

Produkt	Beskrivning	Pris/enhet
Bandstropp	Maxlast (WLL) 4ton 6m lång	639kr
Summa		639kr

5.4 Val av lösning

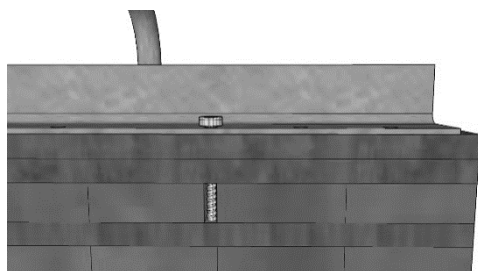
Efter dessa beräkningar valdes av Martinsons metod fyra, den skruvade lyftplattan, som den bästa lösningen. Detta berodde främst på att det var den enda lösningen som på ett effektivt sätt klarade av att lyfta alla element som företaget idag kan producera. Vid jämförelsen av priset visade det sig även att lyftplattan var ett billigare alternativ per lyftpunkt än kulankaret. Alternativet att lyfta med bandstroppar är en billig och mångsidig metod men faller på att elementen ofta inte kan monteras på rätt plats direkt utan måste justeras efter att stropparna plockats bort. Man bör även beakta att på grund av de många skruvar som behövs för lyftplattorna och tiden det tar att skruva i och ur dessa så kan det vara bra ha flera uppsättningar lyftplattor för att få arbetet att bli effektivt⁷. Detta behövs inte för kulankaret då det snabbt går att koppla loss och skickas med kranen direkt för att koppla nästa element, men här måste man istället komma ihåg att skruven endast bör användas en gång och sedan bytas ut vilket inte är fallet vid användning av lyftplattan. Detta gör att det till ett stort projekt kan gå åt stora mängder skruv⁸.

⁷ Daniel Wiklund (Säljare, Martinsons Byggsystem) möte med författaren den 19 mars 2014

⁸ Johan Königsson (Projektleddare och konstruktör, Martinsons Byggsystem) möte med författaren den 5 maj 2014.

5.4.1 Kontroll av bärförmåga vid användning

På grund av att det kan finnas ihåligheter i KL-träet till följd av tillverkningsprocessen, Figur 5.5 visar en skruv som hamnat i ett hålrum och därför inte har full utdragskapacitet, och att det inte finns något bestämt sätt att ta hänsyn till detta i beräkningsmodellerna gjordes en kontrollberäkning av hur mycket skruvkapacitet som skulle kunna mistas utan att äventyra säkerheten i lyftet. Dessa beräkningar gjordes utifrån den verkliga egentygnden utan något påslag av partialkoefficienter.



Figur 5.5 Exempel på håligheter i element av KL-trä.

Egentygnden (G) beräknas enligt Ekvation 4.3 till 19,04kN

Kraftkomposanterna beräknas enligt nedan. För att vara på säker sida ändrades även lyftvinkeln β till 60° då detta är den mest ogynnsamma som bör användas.

Beräkning av vertikal kraftkomposant:

$$F_{ax,Ed} = \frac{G}{4} \quad (5.93)$$

$$F_{ax,Ed} = \frac{19,04 \cdot 10^3}{4} = 4,76 \text{ kN} \quad (5.94)$$

Beräkning av horisontell kraftkomposant:

$$F_{v,Ed} = \frac{F_{ax,Ed} \cdot \sin \beta}{\sin(90^\circ - \beta)} \quad (5.95)$$

$$\beta = 60^\circ$$

$$F_{v,Ed} = \frac{4,76 \cdot 10^3 \cdot \sin 60^\circ}{\sin(90^\circ - 60^\circ)} = 8,09 \text{ kN} \quad (5.96)$$

Beräkning av kraftkomposant i lyftriiktningen:

$$F_{Ed} = \frac{F_{ax,Ed} \cdot \sin 90^\circ}{\sin(90^\circ - \beta)} \quad (5.97)$$

$$F_{Ed} = \frac{4,76 \cdot 10^3 \cdot \sin 90^\circ}{\sin(90^\circ - 60^\circ)} = 9,52 \text{ kN} \quad (5.98)$$

Utdragshållfasthet skruv

Den karakteristiska utdragshållfastheten för ett skruvförband vinkelrätt mot fiberriktning beräknas enligt ekvation 5.99.

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d_g \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1,2 \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad (5.99)$$

Då beräkningarna görs för en skruv sätts $n_{ef} = 1$, inverkan av alla skruvar i förbandet tas hänsyn till i ekvation 5.118.

$$f_{ax,k} = 0,52d^{-0,5} * l_{ef}^{-0,1} * \rho_k^{0,8} \quad \begin{array}{l} \text{[Den karakteristiska utdrags-} \\ \text{hållfastheten vinkelrätt mot} \\ \text{fiberriktningen]} \end{array} \quad (5.100)$$

$$d_g = 10mm \quad \text{[Diametern på skruvens gänga]}$$

$$l_{ef} = 65mm \quad \text{[Inträngningsdjup för den gängade delen]}$$

$$\rho_k = 350 kg/m^3 \quad \text{[Den karakteristiska densiteten,} \\ \text{angivet av tillverkaren]}$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{\frac{d_g}{8} = \frac{10}{8} = 1,25}{1} \right\} = 1 \quad (5.101)$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$f_{ax,k} = 0,52 * 10^{-0,5} * 65^{-0,1} * 350^{0,8} = 11,75 N/mm^2 \quad (5.102)$$

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{1 * 11,75 * 10 * 65 * 1}{1,2 * \cos^2 90^\circ + \sin^2 90^\circ} = 7,64kN \quad (5.103)$$

Skjuvhållfasthet skruv

Vid användning av lyftplattorna kommer skruvarna i förbandet att belastas av både en axialkraft och en skjuvkraft. Skjuvbärförmågan för en skruv i förbandet bestäms med ekvation 5.104, till det minsta av de två värdena.

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \frac{0,4 * f_{h,\alpha,k} * t_1 * d_h}{1,15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,\alpha,k} * d_h} + \frac{F_{ax,k,Rk}}{4}} \right\} \quad (5.104)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \begin{array}{l} \text{[Karakteristisk bäddhållfasthet} \\ \text{vid vinkel } \alpha \text{ mot fiberriktningen]} \end{array} \quad (5.105)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d_h)\rho_k \quad \begin{array}{l} \text{[Karakteristisk bäddhållfasthet} \\ \text{parallellt fiberriktningen]} \end{array}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d_h \quad \text{[Materialparameter för barrträd]} \quad (5.106)$$

$$d_h = 7mm \quad \text{[Diametern på skruvens hals]}$$

$$\rho_k = 350 kg/m^3 \quad \text{[Den karakteristiska densiteten,} \\ \text{angivet av tillverkaren]}$$

$$\alpha = 90^\circ \quad \text{[Vinkeln mellan skruv och} \\ \text{fiberriktning]}$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01 * 7) * 350 = 26,69 N/mm^2 \quad (5.107)$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 * 7 = 1,46 \quad (5.108)$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{26,69}{1,46 * \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = 18,28 N/mm^2 \quad (5.109)$$

Tjockleken på lyftplattan antas vara 6mm, därför beräknades inträngningsdjupet av skruven enligt ekvation 5.110.

$$t_1 = l - 6 \quad \begin{array}{l} \text{[Det minsta värdet av} \\ \text{inträngningsdjupet och} \\ \text{virkestjockleken]} \end{array} \quad (5.110)$$

$$l = 100 \quad \text{[Skruvens längd]}$$

$$t_1 = 100 - 6 = 94 \text{ mm} \quad (5.111)$$

$$M_{y,Rk} = 26390 \text{ Nm} \quad \begin{array}{l} \text{[Karakteristiskt flytmoment, angivet} \\ \text{av tillverkaren för } d_g = 10 \text{ mm]} \end{array}$$

$$F_{ax,k,Rk} = 7,64 \text{ kN} \quad \begin{array}{l} \text{[Utdragshållfastheten} \\ \text{från ekvation 5.103]} \end{array}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 * 18,28 * 94 * 7 = 4,81 \text{ kN} \\ 1,15 * \sqrt{2 * 26390 * 18,28 * 7} + \frac{7640}{4} = 4,90 \text{ kN} \end{array} \right. \quad (5.112)$$

$$F_{v,Rk} = 4,81 \text{ kN}$$

Beräkningsvillkor

Då skruvarna i förbandet är belastade med både axialkraft och tvärkraft bör villkoret i ekvation 5.113 vara uppfyllt.

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,ef,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,ef,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (5.113)$$

Det karakteristiska värdet på skruvens utdragsbärförmåga beräknat i ekvation 5.103, samt det karakteristiska värdet på skruvens skjuvhållfasthet beräknat i ekvation 5.112, beräknas om till dimensionerande värde med ekvation 5.114 och 5.115. De dimensionerande värdena på lasterna är hämtat från ekvation 4.8 och 4.10.

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{ax,Rk}}{\gamma_M} \quad (5.114)$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (5.115)$$

$$k_{mod} = 0,9 \quad \begin{array}{l} \text{[Lastvaraktighets- och fuktfaktor} \\ \text{för kortvarig last]} \end{array}$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad \text{[Partialkoefficient för förband]}$$

$$F_{ax,Rd} = 0,9 * \frac{7,64 * 10^3}{1,3} = 5,29 \text{ kN} \quad (5.116)$$

$$F_{v,Rd} = 0,9 * \frac{4,81 * 10^3}{1,3} = 3,33 \text{ kN} \quad (5.117)$$

Eftersom att dessa värden endast avser en skruv multipliceras detta värde med det effektiva antalet skruvar som verkar i förbandet enligt ekvation 5.118 och 5.119.

$$F_{ax,ef,Rd} = F_{ax,Rd} * n_{ef,1} \quad (5.118)$$

$$F_{v,ef,Rd} = F_{v,Rd} * n_{ef,2} \quad (5.119)$$

Det effektiva antalet skruvar beror dels på skruvens diameter men också på minsta avståndet mellan träskruvarna, detta värde fås genom att ta det största värdet av resultaten i ekvation 4.13 och 4.19

$$n_{ef,1} = n^{0,9} \quad \text{[Det effektiva antalet träskruvar vid axiell belastning]} \quad (5.120)$$

$$n_{ef,1}(n = 4) = 4^{0,9} = 3,48$$

$$n_{ef,2} = \min \left\{ n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d_h}} \right. \quad \text{[Det effektiva antalet skruvar vid tvärbelastade skruvar]} \quad (5.121)$$

$$a_1 = \max \left\{ \begin{matrix} 50mm \\ 70mm \end{matrix} \right. = 70mm \quad (5.122)$$

$$n_{ef,2}(n = 4) = \min \left\{ 4^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{70}{13*7}} \right. = 3,26 \quad (5.123)$$

$$n_{ef,2} = 2,52$$

$$F_{ax,ef,Rd} = 5,29 * 10^3 * 3,48 = 18,41kN \quad (5.124)$$

$$F_{v,ef,Rd} = 3,33 * 10^3 * 3,26 = 10,86kN \quad (5.125)$$

Kontroll av villkor:

$$\left(\frac{4,76*10^3}{18,41*10^3} \right)^2 + \left(\frac{8,09*10^3}{10,86*10^3} \right)^2 = 0,62 < 1 \Rightarrow Ok \quad (5.126)$$

Förutom skruvens utdragshållfasthet bör även risken för att huvudet på skruven dras loss beaktas, detta görs med ekvation 5.127 där $F_{t,Rd}$ är den dimensionerande dragbärförmågan hos förbandet, värdet för belastningen, $F_{ax,Ed}$, är beräknat i ekvation 4.8.

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad (5.127)$$

$$F_{t,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{t,Rk}}{\gamma_M} \quad (5.128)$$

$$F_{t,Rk} = n^{0,9} * f_{tens,k} \quad (5.129)$$

$$f_{tens,k} = 37,60kN \quad \text{[Träskruvens karakteristiska dragbärförmåga, angivet av tillverkaren för } d_g = 10mm]$$

$$F_{t,Rk} = 4^{0,9} * 37,60 * 10^3 = 130,93kN \quad (5.130)$$

$$F_{t,Rd} = 0,9 * \frac{130,93*10^3}{1,3} = 90,64kN \quad (5.131)$$

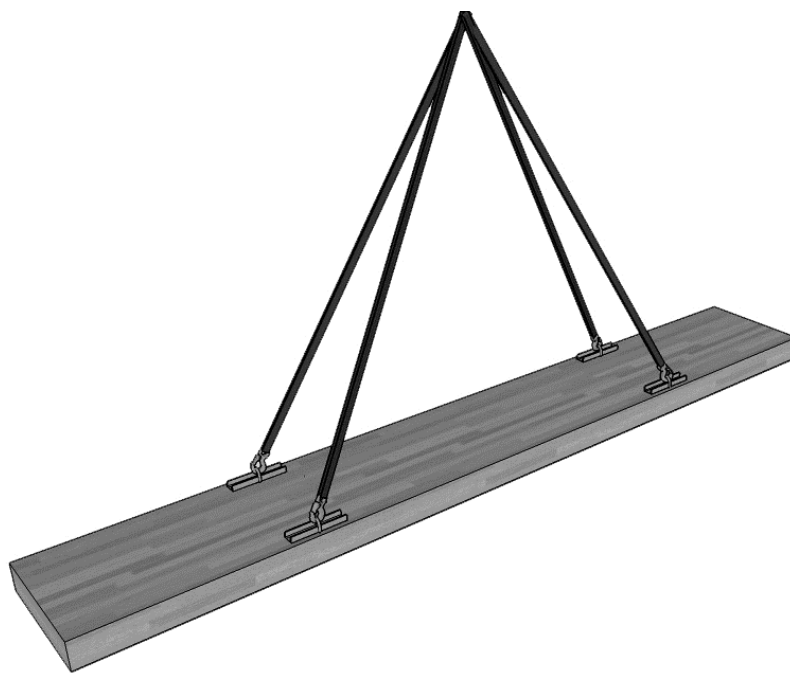
Kontroll av villkor:

$$\frac{4,76*10^3}{90,64*10^3} = 0,053 < 1 \Rightarrow Ok \quad (5.132)$$

Detta visar att infästningen kommer att hålla även om två skruv per lyftpunkt helt skulle tappa fästet samt att den effektiva längden på de resterande fyra skruvarna skulle kunna vara 43mm kortare än i de ursprungliga hållfasthetsberäkningarna.

6 Slutgiltig lösning

Efter det andra urvalets mer ingående undersökningar av de olika lyftredskapen valdes slutligen den skruvade lyftplattan som det bästa och mest effektiva alternativet. Den främsta anledningen till detta val var redskapets mångsidighet då det går att använda till alla element oavsett storlek som företaget idag producerar. En illustration av hur lyftplattorna är tänkta att användas visas i Figur 6.1.



Figur 6.1 Lyft med lyftplattor.

6.1 Handbok

Eftersom lyftplattan endast var en prototyp och inte fullt hållfasthetsberäknad kunde ingen färdig handbok göras utan detta avsnitt beskriver de delar som måste och bör vara med i en handbok för användning vid lyft av skivor i KL-trä.

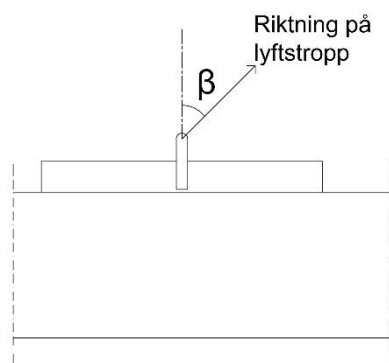
Det som måste finnas med enligt arbetsmiljöverket är beskrivet i Tabell 2.3. Det måste finnas tydliga beskrivningar av hur och till vad lyftredskapet skall användas samt hur det skall monteras. För att få en tydlig beskrivning bör det både finnas beskrivande text och tydliga illustrationer. I handboken måste även visas vilket värde som använts vid statisk provning, hur detta prov utförs beskrivs i kapitel 2.1.1.

För att tydligt visa hur många och långa skruv som måste användas för olika storlekar på element vid olika lyftvinkel och antal lyftpunkter bör någon form av tabell liknande Tabell 6.1 finnas i handboken.

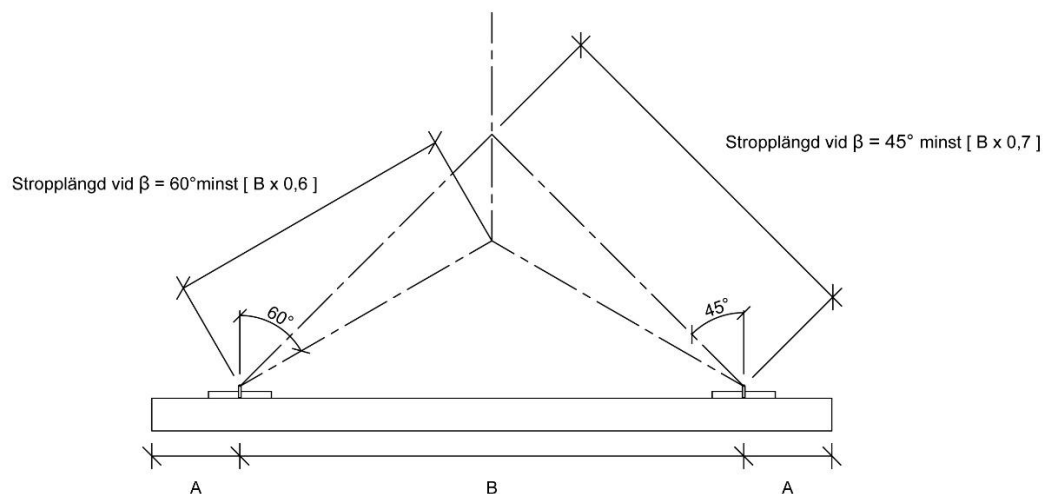
Tabell 6.1 Antal skruv per lyftplatta.

Elementparametrar			Antal skruv per lyftplatta (st) och skruvlängd (mm)			
			2 Lyftpunkter		4 Lyftpunkter	
Tjocklek (mm)	Längd (m)	Vikt (kg)	β 0-45°	β 45-60°	β 0-45°	β 45-60°
70	2	84	2x70mm	2x70mm	2x70mm	2x70mm
	4	168	2x70mm	2x70mm	2x70mm	2x70mm
	6	252	4x70mm	6x70mm	2x70mm	4x70mm
	8	336	4x70mm	4x100mm	2x70mm	4x70mm
	10	420	6x70mm	6x100mm	4x70mm	4x70mm
	12	504	6x70mm	-	4x70mm	6x70mm
259	2	311	4x70mm	6x70mm	2x70mm	4x70mm
	4	622	4x140mm	6x200mm	4x70mm	6x70mm
	6	932	6x140mm	-	6x70mm	6x140mm
	8	1243	-	-	4x140mm	6x200mm
	10	1554	-	-	6x140mm	-
	12	1865	-	-	6x140mm	-

Med denna typ av tabell är det enkelt för montörerna på byggplatsen att bestämma hur lyftplattorna skall fästas. Tabellen måste kompletteras med en illustration av hur vinkeln β mäts likt Figur 6.2. För att lättare kunna avgöra hur långt ifrån varandra de olika lyftpunkterna skall monteras för olika lyftvinklar bör även en förklarande bild av förhållandet mellan det avståndet och längden på stropparna eller kättingarna som används vid lyftet finnas, ett exempel visas i Figur 6.3

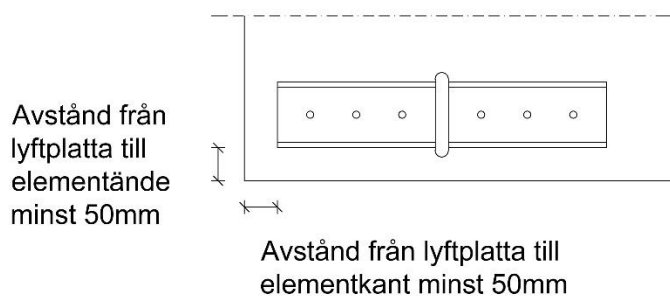


Figur 6.2 Förklaring av vinkeln β .



Figur 6.3 Förhållande mellan stroplängd och avstånd mellan lyftpunkter.

För att beräkningarna som ligger bakom Tabell 6.1 skall vara korrekta krävs att minimiavstånden mellan skruvarna och kanterna på elementen beräknade i ekvationerna 4.16, 4.18, 4.21 och 4.22 respekteras. Det bör därför finnas en illustration som visar detta likt Figur 6.4.



Figur 6.4 Minsta kantavstånd vid lyft.

Fler illustrationer och instruktioner skulle kunna tas med men risken om för mycket saker tas med är att det blir invecklat att förstå och risken för missförstånd ökar.

7 Slutsatser och diskussion

7.1 Metod

Förstudien gav en bra grund och förståelse för vilka krav som ställs på denna typ av lyft och lyftredskap. Det var svårt att hitta specifik information som direkt var kopplad till hantering av massivträ, detta kan möjligen bero på att tekniken med att bygga i massivträ är relativt ny. Förstudien skulle kunna gjorts mer omfattande för att på så sätt eventuellt hitta mer information inom området. En bedömning gjordes dock att denna extra tidsåtgång inte skulle vara relevant i förhållande till den totala projektiden.

Omfattningen på det första urvalet var också svårt att sätta en gräns på. Hur många olika typer av redskap skulle tas med, hur omfattande skulle analysen av varje redskap vara med mera. Eftersom detta urval endast skulle vara ett första steg i att hitta den slutgiltiga lösningen valdes att endast titta på sex olika metoder och deras viktigaste för och nackdelar. Detta ansågs vara en lagom mängd information för att hitta tre som skulle kunna fungera till önskat ändamål.

De metoder som analyserades mer ingående i det andra urvalet valdes ut tillsammans med representanter för Martinsons. Lyftskruven, lyftplattan och bandstroppen ansågs vara de förslag som passade bäst och som var av intresse att få mer ingående information om. På grund av hur metoderna används gjordes det handberäkningar av hållfastheten för lyftskruven och lyftplattan medan det vid användning av bandstropp finns färdiga tabeller med lyftkapaciteter angivna. I efterhand hade det varit intressant att titta mer på hur metoden med en textilsling och ståltapp hade klarat sig hållfasthetsmässigt, denna valdes dock bort på grund av att det krävdes mycket för- och efterarbete vid användning av denna metod.

7.2 Valet av redskap

Det slutgiltiga valet av lyftredskap blev den skruvade lyftplattan. Den ansågs vara mest mångsidig då det med denna gick att hantera alla de typer och storlekar av element som Martinsons idag tillverkar. Det gjordes inga handberäkningar på hållfastheten av själva lyftplattan, detta berodde både på att ingen slutgiltig design togs fram utan bara en prototyp som endast snabbt testades i en FEM-analys av företaget men även på grund av kravet att redskapet var tvunget att vara CE-märkt för att det skulle få släppas på marknaden. För att komma ifrån detta krav diskuterades istället att köpa in tjänsten att utforma och tillverka lyftplattan från ett utomstående företag.

7.3 Beräkningar

Mot slutet av arbetet med projektet uppkom en diskussion mellan författaren och Professor Robert Kliger⁹ angående huruvida man skall använda partialkoefficienter vid beräkning av egentyngheten på KL-trä elementen. Frågeställningen pekade på en onödigt hög säkerhetsfaktor då det endast handlar om ett kortvarigt lyft så möjligen borde partialkoefficienter för olyckslast använts istället. Då dessa är 1,0 för både huvudlast

⁹ Robert Kliger, Professor i Konstruktionsteknik, forskargruppen Stål- och träbyggnad, Institutionen för Bygg- och miljöteknik, Chalmers Tekniska Högskola

och variabel (BFS 2011:10) last skulle säkerhetsfaktorn endast bestå av den dynamiska effekten vid lyft som beräknas i ekvation 4.5 som var 1,1476 multiplicerat med partialkoefficienten för osäkerhet i modellen som är 1,15. Detta skulle ge en säkerhetsfaktor på ca 1,32 istället för den sammanlagda säkerhetsfaktorn från ekvation 4.1 som blev hela 3,52. Dessa antaganden skulle få stora konsekvenser på resultatet av hållfasthetsberäkningarna och skulle medföra att fler element skulle gå att lyfta med lyftskruv och kulankare samt att det skulle ge möjlighet att använda färre eller kortare skruv vid användning av lyftplattan. Inga beräkningar gjordes utifrån dessa antaganden men det är en viktig aspekt att tänka på vid fortsatt utredning av systemet.

En av de största svårigheterna med projektet var hur man skulle ta hänsyn till egenskaperna hos KL-träet i de olika beräkningsmodellerna. Ett av problemen var att det inte finns krav på att alla de tvärgående lamellerna inuti elementen ligger helt tätt ihop, på grund av detta skulle en skruv kunna fästas i ett hålrum utan montörens vetskap. Detta skulle leda till att skruvens verkliga utdragshållfasthet är lägre än beräknat. För att kontrollera risken för olyckor om detta skulle kunna inträffa gjordes en beräkning av hur mycket mindre skruvkapaciteten skulle kunna vara utan att elementen skulle tappas vid lyft. Då denna beräkning gjordes med den verkliga lasten utan några säkerhetsfaktorer och den visade att mer än hälften av alla skruvar skulle kunna tappa sin kapacitet helt utan att något skulle hända ansågs beräkningarna vara godtagbara. Ytterligare ett problem som framkom sent i projektet var att elementen inte består av samma virkeskvalitet igenom hela elementet. De längsgående lamellerna var av kvalitet C24 vilket vid beräkningar antas ha en densitet på 350kg/m³ medan de tvärgående lamellerna var av kvalitet C14 vilket har en densitet på 290kg/m³. Då utdragshållfastheten för skruven blir större vid en högre densitet var det av stor vikt att bestämma det mest korrekta värdet att använda. Slutligen valdes i samråd med Martinsons¹⁰ att anta att hela elementet bestod av kvalitet C24 trots att detta medförde att beräkningarna blev lite på osäker sida. Möjligen hade det gått att göra mer ingående beräkningar för att på något sätt ta hänsyn till skiftningarna i kvalitet men detta ansågs ge för mycket jobb och skulle kunna bli ett eget projekt i framtiden.

Ett annat problem visade sig vara osäkerheter i elementens medeldensitet. Det skiljde mycket mellan olika mätomgångar och det fanns en viss oenighet inom företaget om vilka värden som skulle användas. Till sist valdes att använda den högsta medeldensiteten för att vara på säker sida. Vid beräkning av egenvikten för elementen fanns också vissa osäkerheter i vilka säkerhetsfaktorer som skulle tas hänsyn till och då främst vid beräkningen av dynamikfaktorn vid lyft. Då denna utgick från kranens lyfthastighet som var svårdefinierad fanns en viss osäkerhet i dessa beräkningar men efter jämförelse med säkerhetsvärden för lyft av betongelement ur Svensk Standard (SIS 2012), ansågs beräkningarna vara tillförlitliga.

När företaget gjorde en FEM-analys av den föreslagna lyftplattan visade det sig att belastningen på skruvarna var en helt annan jämfört med den som beräkningarna utgått från. Det visade sig att belastningen på skruvarna närmst lyftöglan var mycket större än på de skruvar som satt längre ifrån medan handberäkningarna utgått från att alla skruvar tar upp lika mycket av lasten. Detta var ett problem som diskuterades mellan författaren och en av handledarna redan i ett tidigt skede på projektet men som valdes att inte tas hänsyn till på grund av dess komplexitet.

¹⁰ Johan Königsson (Projektledare och konstruktör, Martinsons Byggsystem) möte med författaren den 4 maj 2014.

För att se om det på ett mer effektivt sätt kunna gått att utnyttja hela skruvlängden hade jämförande beräkningar på en helgängad skruv varit intressant att göra, detta fick dock inte rum inom projektiden.

7.4 Påverkan på kommande projekt

Problemet från tidigare projekt med att elementen hängde snett vid lyft var något som tyvärr inte gick att hitta någon bra lösning på. Försök att med hjälp av de ritningsprogram som används vid projekteringen beräkna elementens tyngdpunkt, för att på så sätt kunna mäta ut var lyftpunkterna skulle sitta för att lyftet skulle kunna ske rakt, visade att detta inte var möjligt.

Tanken med projektet var att Martinsons vid kommande leveranser skall kunna skicka med ett färdigkomponerat ”lyftpaket” där alla nödvändiga komponenter samt beskrivningar på hur dessa skall användas för att genomföra säkra lyft av deras element skall ingå. Genom detta skulle önskemålet från tidigare projekt att det skulle finnas tydliga instruktioner på hur man skall hantera elementen uppfyllas.

8 Referenser

- AFS 2006:6. *Användning av lyftanordningar och lyftredskap*. Stockholm, Arbetsmiljöverket.
- AFS 2008:3. *Maskiner*. Stockholm, Arbetsmiljöverket.
- BFS 2011:10 *Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)*. Stockholm, Boverket.
- Certex (2014), *Betongsax HDF*, http://www.certex.se/se/lyftredskap-for-betongprodukter/betongsax-hdf__15005 (2014-05-02)
- Esska (2014), *Bandstropp "Planeta"*, www.esska.se (2014-05-05)
- Gagnon, S., Francis, S. & Stockton, B. (2013) Lifting and handling of cross-laminated timber elements. CLT Handbook: *Cross-Laminated Timber*, red. E. Karacabeyli & B. Douglas, Pointe-Claire: FPInnovations.
- Gustafsson, Å., Vessby, J & Rask, L-O. (2008) *Erfarenheter av Logistik- och montageprocessen vid byggande av höga flerbostadshus med trästomme. Del 2: Faktorer som påverkat tidseffektiviteten vid projektet Limnologen, Växjö 2007*. Växjö: Växjö Universitet (Reports No. 46)
- Halfen (2011), *Prislista*, http://www.halfen.se/s/116_7718/halfen/modules/brochures/index.php (2014-05-02).
- Halfen (2012), *Spherical head lifting anchor system. Technical product information*, http://www.halfen.se/s/116_7717/halfen/modules/brochures/index.php (2014-05-02).
- Jarnerö, K., Gustafsson, Å., Vessby, J & Rask, L-O. (2008) *Erfarenheter av Logistik- och montageprocessen vid byggande av höga flerbostadshus med trästomme. Del 1: Probleminventering vid projekt Limnologen, Växjö, 2007*. Växjö: Växjö Universitet (Reports No. 43)
- Johannesson, P & Vretblad B. (2011) *Byggformler och tabeller*, Elfte upplagan, Stockholm: Liber AB.
- Nordgreif, (2013), *Standard lastaufnahme mittel*, Hamburg, Nordgreif GmbH
- Prevent, (2010), *Säkra materiallyft*, Ödeshög: Danagårds Grafiska
- Rothoblaas (2011), *Calculation report - Calculation of load bearing capacity of anchorage for timber element transport*, <http://www.rothoblaas.com/en/se/products/fixing-systems.html#p.technical-documentation.lifting-system> (2014-04-07).
- SFS Intec (2014), *Prislista 2014-SE*, http://www.sfsintec.biz/mo/se/sv/web/about_us/publications_and_media/download-center/downloadcenter_1.html (2014-05-02).
- Swedish Standards Institute (SIS) 2004, *Eurokod 5: Dimensionering av träkonstruktioner – Del 1-1: Allmänt – Gemensamma regler och regler för byggnader*, SS-EN 1995-1-1:2004, SIS Förlag AB, Stockholm.

Swedish Standards Institute (SIS) 2005, *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 1-6: Allmänna laster – Last under byggskedet*, SS-EN 1991-1-6:2005, SIS Förlag AB, Stockholm.

Swedish Standards Institute (SIS) 2006, *Eurokod 1: Laster på bärverk – Del 3: Last av kranar och maskiner*, SS-EN 1991-3:2006, SIS Förlag AB, Stockholm.

Swedish Standards Institute (SIS) 2008, *Textila sling – Säkerhet – Del 1: Lyftband tillverkade av syntetfiber, för generell användning*, SS-EN 1492-1+A1:2008, SIS Förlag AB, Stockholm.

Swedish Standards Institute (SIS) 2009, *Lyftkranar – Säkerhet - Lösa lyftredskap*, SS-EN 13155+A2:2009, SIS Förlag AB, Stockholm.

Swedish Standards Institute (SIS) 2012, *Förtillverkade betongprodukter - Förankring för lyft och hantering*, SIS-CEN/TR 15728:2012, SIS Förlag AB, Stockholm.